

LEISTUNGSVERHALTEN IN DER NEUROPSYCHOLOGISCHEN
UNTERSUCHUNG: EIN NEUROPSYCHOPHYSIOLOGISCHER ANSATZ
ZUR LEISTUNGSVALIDIERUNG

Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät
der
Universität Zürich

vorgelegt von
Esther Spirig

Angenommen im Herbstsemester 2017
auf Antrag der Promotionskommission:

Prof. Dr. rer. nat. Hennric Jokeit
(hauptverantwortliche Betreuungsperson)

Prof. Dr. rer. nat. Ulrike Ehlert

Zürich, 2017

Die Validität einer neuropsychologischen Untersuchung hängt vom Leistungsverhalten des Exploranden ab. Dieses wird bisher mit Leistungsvalidierungstests, Selbstberichten oder Beobachtungen punktuell beurteilt. Alternativ könnten sich psychophysiologische Masse wie die Herzrate (HR) für ein kontinuierliches Monitoring des Leistungsverhaltens eignen. In dieser Arbeit wurde die Eignung eines solchen Ansatzes evaluiert.

Zweiundneunzig gesunde Probanden und 39 neurologische Patienten (NP) nahmen an einer standardisierten neuropsychologischen Untersuchung mit kontinuierlicher HR-Aufzeichnung teil. Die Hälfte der gesunden Probanden wurde instruiert ihre bestmögliche Leistung zu zeigen (*Active Coping*; AC) und die andere, unter ihrer Leistungsgrenze zu bleiben (*Non-Coping*; NC). Die NP erhielten die AC-Instruktion. Anhand einer Diskriminanzanalyse, basierend auf dynamischen HR-Verläufen, wurden alle Probanden einer der beiden Bedingungen zugeordnet.

Mithilfe der Diskriminanzanalyse konnten 83.1% der gesunden Probanden korrekt der Instruktionsbedingung zugeordnet werden. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% konnten NP nicht zuverlässig der AC-Bedingung zugeordnet werden.

Die bestmögliche Bearbeitung neuropsychologischer Aufgaben geht bei gesunden Probanden mit systematischen Veränderungen der HR einher. Um das Verfahren für NP zu nutzen, sind weitere Untersuchungen notwendig. Dennoch ist der präsentierte Ansatz ein vielversprechender Zugang zur Einschätzung des Leistungsverhaltens.

The validity of neuropsychological assessments depends upon the subject's performance behavior, which is currently selectively evaluated by performance validity tests, self-reports, and observations. To ensure continuous monitoring of performance behavior, psychophysiological measurements such as heart rate (HR) seem to be promising.

Therefore, we studied the feasibility of monitoring performance behavior by dynamic HR changes.

Ninety-two healthy participants and 39 neurologic patients took part in a comprehensive neuropsychological assessment during which HR was continuously recorded. Half of the healthy participants were instructed to show optimal performance behavior (active coping; AC) and the other half to clearly underperform (non-coping; NC). Neurological patients received AC instructions.

A discriminant analysis was performed to distinguish between the two healthy participant groups based on their HR trajectories during tasks, which led to the correct classification of 83.1% of all healthy cases corresponding to their instruction. For neurological patients, the classification rate was not reliable, inasmuch only 50% were classified to the AC instruction.

This thesis shows that optimal performance behavior is associated with systematic changes in HR in healthy participants. In order to optimize the suggested procedure, further research is needed. Systematic changes in HR may offer a feasible means of assessing performance behavior.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt Prof. Hennric Jokeit für die kompetente und hilfreiche Betreuung und Begleitung während meiner Dissertation. Ich konnte in grossem Ausmass von seinen breiten und beeindruckenden klinischen und wissenschaftlichen Erfahrungen profitieren und lernen. Hennric, vielen Dank, dass du mich während des ganzen Projekts unterstützt, die richtigen Fragen gestellt und wertvolle Anregungen gegeben hast. Ich bin dankbar, dass ich die Möglichkeit hatte, ein so spannendes und bereicherndes Projekt unter deiner Leitung durchzuführen. Ein herzlicher Dank gilt Prof. Ulrike Ehlert für ihre externe Betreuung meiner Dissertation. Vielen Dank für die respektvolle und wohlwollende Unterstützung.

Ein weiteres grosses Dankeschön gilt den Forschungspraktikantinnen und Masterstudierenden Anaïs Verrey, Anna Lacroix, Barbara Rauber, Beat Huber, Elisabeth Bieri, Franziska Bieri, Johanna Büchel, Lea Korevaar, Manuela Rytz, Nadine Widmer, Nicole Rosales, Sandra Winkelmann und Tiziana Manfioletti, die mit ihrem grossen Einsatz und Engagement das Projekt erst ermöglicht haben.

Ein spezieller Dank geht an Bettina Steiger, die unzählige Stunden damit verbrachte, mit mir die neurophysiologischen Grundlagen für unsere Projekte herauszuarbeiten. Sie stand mir immer mit wertvollen Anregungen zur Seite und unterstützte mich immer in jeder Phase meiner Arbeit.

Vielen Dank auch an das grandiose „Neuropsychologie-Team“ der Schweizerischen Epilepsie-Klinik für die familiäre, entspannte Atmosphäre, die vielen vergnüglichen Mittagessen und für eure Unterstützung sowohl in beruflicher als auch privater Hinsicht.

Zum Schluss gilt ein ganz besonderer Dank meiner Familie und meinen Freunden, die mich in Phasen des Zweifels aufgebaut haben, hinter mir standen und mir insbesondere in den intensivsten Wochen mit überwältigendem Verständnis, kleinen Aufmerksamkeiten und aufmunternden Worten geholfen haben, meine Dissertation abzuschliessen.

Finanzierung

Vielen Dank der Siwss Insurance Medicine (SIM), die die Literaturrecherche für die Studie finanzierte, und dem SUVA Fonds, der dieses Projekt grosszügig finanzierte und meine Dissertation dadurch ermöglichte.

Inhaltsverzeichnis

Abstract Deutsch	II
Abstract English.....	III
Einleitung.....	1
I Theoretischer Teil	6
1 Leistungsvalidierung	6
1.1 Zum Begriff der Leistungsvalidierung	6
1.2 Leistungsvalidität und Beschwerdenvalidität	7
1.3 Ungültige Testergebnisse	9
1.4 „Überwindbarkeitspraxis“	10
1.5 Kriterien der Beschwerden- und Leistungsvalidierung	12
1.6 Verschiedene Verfahren und Ansätze zur Leistungsvalidierung	19
1.6.1 Alternativwahlverfahren und eingebettete Indikatoren.....	19
1.6.2 Testdeckeneffekt.....	22
1.6.3 Leistungskurve	23
1.6.4 Fehlergrösse	23
1.6.5 Inkonsistente oder untypische Leistungsprofile	23
1.6.6 Präsentation psychischer Folgen.....	24
1.7 Limitationen	24
1.8 Zusammenfassung	26
2 Mentale Anstrengung.....	28
2.1 Aktivierungstheoretische Ansätze	29
2.2 Ressourcentheoretische Ansätze.....	31
2.3 Motivationale Ansätze	34
2.4 Würdigung und Forschungslücken früherer Ansätze	34
2.5 Aktuelle Definition mentaler Anstrengung als subjektive Empfindung	35
3 Neurophysiologische Grundlagen	39
3.1 Autonomes Nervensystem	39
3.1.1 Physiologie des Herzens.....	41
3.1.2 Zentrales autonomes Netzwerk	43
3.1.3 Das Modell der neuroviszeralen Integration.....	47
3.2 Herzrate und Herzratenvariabilität	49
3.2.1 Zeitbereichsparameter.....	51
3.2.2 Frequenzbereichsparameter	51

3.2.3	Nicht-lineare Ansätze.....	54
3.2.4	Der Einfluss von Hirnverletzungen auf die Herzratenvariabilität	55
3.2.5	Herzrate und Herzratenvariabilität: Zusammenfassung und Kritik	61
3.3	Die Herzratenvariabilität als Indikator für das Leistungsverhalten.....	62
II	Empirischer Teil: Monitoring mentaler Anstrengung während einer neuropsychologischen Untersuchung.....	65
4	Fragestellungen und Hypothesen.....	65
5	Methoden	69
5.1	Stichprobe.....	69
5.1.1	Rekrutierung und Zusammensetzung der Gruppen mit gesunden Probanden	69
5.1.2	Rekrutierung und Zusammensetzung der Stichprobe der neurologischen Patienten	70
5.1.3	Beschreibung der Gesamtstichprobe.....	71
5.2	Versuchsplan	72
5.2.1	Untersuchungsablauf.....	73
5.3	Datenaufzeichnung und Datenverarbeitung der Herzrate.....	75
5.3.1	Zeitbasierte und frequenzbasierte Variablen.....	76
5.3.2	Glättung der Herzratenzeitreihe.....	78
5.3.3	Testleistungen in neuropsychologischen Aufgaben.....	80
5.4	Statistische Analysen	80
5.4.1	Neuropsychologische Testverfahren	81
5.4.2	Instruktionsbedingte Unterschiede bezüglich Herzrate und Herzratenvariabilität zwischen den beiden Gruppen mit gesunden Probanden	81
5.4.3	Hauptkomponentenanalyse.....	81
5.4.4	Diskriminanzanalyse.....	82
5.4.5	Klassifikation der neurologischen Patienten.....	83
6	Resultate	83
6.1	Demographische Unterschiede zwischen den Gruppen	83
6.2	Resultate der Gruppen mit gesunden Probanden	84
6.2.1	Einfluss der Instruktion auf die neuropsychologischen Testergebnisse	84
6.2.2	Gruppenunterschiede in der Herzrate und den Herzratenvariabilitätsparametern zwischen den beiden Gruppen gesunder Probanden.....	85

6.3	Hauptkomponentenanalyse	87
6.3.1	Zahlen-Symbol-Test.....	87
6.3.2	Stroop-Interference-NoGo-Test	88
6.3.3	Ruff 2 & 7-Durchstreichtest	88
6.3.4	Swiss View 1_2	88
6.4	Replikationsanalyse der Hauptkomponentenanalyse	89
6.5	Berechnung der Korrelationskoeffizienten	90
6.6	Diskriminanzanalyse	90
6.6.1	Klassifikation der gesunden Probanden.....	91
6.6.2	Klassifikation der neurologischen Patienten.....	94
III	Diskussion.....	98
7	Diskussion der Studienresultate	98
7.1	Leistungsinstruktionsinduzierte Unterschiede in den Testleistungen zwischen den Gruppen mit gesunden Probanden	100
7.2	Leistungsinstruktionsinduzierte Unterschiede der Herzrate und der Herzratenvariabilität zwischen den beiden Gruppen gesunder Probanden	102
7.3	Identifikation aufgabenspezifischer Veränderungen der Herzrate	104
7.4	Klassifizierung der neurologischen Patienten zu den Instruktionsbedingungen	106
7.5	Methodische Erwägungen	108
8	Implikationen für Forschung, neuropsychologische Diagnostik und Recht... ..	109
8.1	Implikationen für die Forschung zur Leistungsvalidierung.....	110
8.2	Implikationen für neuropsychologische Untersuchungen in der Praxis	111
8.3	Rechtliche und politische Aspekte	114
9	Limitationen	115
10	Fazit und Ausblick.....	116
11	Literaturverzeichnis.....	118
	Appendix	142
	Appendix A	142
	Appendix B	145
	Appendix C	147
	Glossar	154

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1.</i> Mögliches Verhalten von Exploranden in einer neuropsychologischen Untersuchung und entsprechende Testprofile (adaptiert nach Frederick & Bowden, 2009)	9
<i>Abbildung 2.</i> Erregungsleitungssystem des Herzen (Quelle: Bommas-Ebert, Teubner und Voss, 2011)	42
<i>Abbildung 3.</i> Efferente und afferente Kontrolle der Herzregulation adaptiert nach Palma & Benarroch, 2014.....	45
<i>Abbildung 4.</i> Schematische Darstellung der bidirektionalen Verbindungen kortikaler und subkortikaler Strukturen des zentralen autonomen Netzwerks (CAN). Adaptiert nach Thayer & Lane (2009).....	46
<i>Abbildung 5.</i> Schematische Darstellung zweier QRS-Komplexe. Adaptiert nach Gramann und Schandry (2009).	50
<i>Abbildung 6.</i> Die Zerlegung des Originalsignals in die verschiedenen Frequenzen. Aus: Shaffer et al. (2014).	53
<i>Abbildung 7.</i> Schematische Darstellung der zeitlichen Trendbereinigung der Herzrate.	77
<i>Abbildung 8.</i> Darstellung der Vorverarbeitung der Herzrate.	79
<i>Abbildung 9.</i> Darstellung der Vorverarbeitungsschritte der Herzraten (HR) und Herzratenvariabilitätsmasse (HRV).	80
<i>Abbildung 10.</i> Gruppenunterschiede der Residuen der Herzrate während der Bearbeitung einer Aufgabe mit hohen kognitiven Anforderungen (Zahlen-Symbol-Test; links) und einer Aufgabe, die nachweislich nur minimale kognitive Anforderungen stellt (Bremer Symptom-Validierung; rechts).	86
<i>Abbildung 11.</i> Mittlere Verläufe der Δ SHR der gesunden Probanden während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests.	93
<i>Abbildung 12.</i> Wahrscheinlichkeit der korrekten Klassifizierung aller Probanden der AC-, NC- und NP-Gruppen zur AC-Bedingung. Die Probanden sind in Abhängigkeit von der ursprünglichen Gruppenzuteilung dargestellt.	96
<i>Abbildung 13.</i> Mittlere Verläufe der Δ SHR mit 95-% Konfidenzintervall während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests.	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	<i>Die Unterscheidung zwischen drei wichtigen Kategorien nicht-organisch bedingter Beschwerden beruht ausschliesslich auf der Beurteilung von innerpsychischen Prozessen des Exploranden, die dem Untersucher nicht direkt zugänglich sind (adaptiert nach Merten, Stevens, & Blaskewitz, 2009)</i>	8
Tabelle 2	<i>Slick-Kriterien (Slick et al., 1999) für die Diagnosestellung vorgetäuschter kognitiver Störungen (adaptiert nach Merten 2014).</i>	14
Tabelle 3	<i>Diagnostische Sicherheit nach den Slick-Kriterien (1999; adaptiert nach Merten 2014).</i>	16
Tabelle 4	<i>Vorgeschlagene diagnostische Kriterien für die Vortäuschung kognitiver Störungen (MND): Eine Revision und Erweiterung der Slick-Kriterien von 1999 (Adaptiert nach Slick und Sherman, 2013).</i>	17
Tabelle 5	<i>Übersicht der am häufigsten verwendeten Zeit- und Frequenzbereichsparameter</i>	52
Tabelle 6	<i>Faktoren bei Hirnverletzungen, die die HR und die HRV sowie das autonome Nervensystem beeinflussen.</i>	58
Tabelle 7	<i>Demographie und klinische Variablen</i>	72
Tabelle 8	<i>Mittelwertsunterschiede der beiden Gruppen mit gesunden Probanden (AC vs. NC) bezüglich Testleistungen in den neuropsychologischen Testverfahren</i>	84
Tabelle 9	<i>Korrelationstabelle der 3 Faktoren der AC- und der NEmo-Gruppe während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests</i>	89
Tabelle 10	<i>Klassifizierungsergebnisse der Diskriminanzanalyse für Probanden der AC-, NC- und NP-Gruppen sowie Ergebnisse der Kreuzvalidierung für die Probanden der AC- und NC-Gruppen.</i>	94
Tabelle 11	<i>Faktoren, die untersucht wurden, um zu erklären, ob sich NPs, die der AC-Bedingung zugeordnet worden waren, von den NPs unterscheiden, die der NC-Bedingung zugeordnet worden waren.</i>	95
Tabelle 12	<i>Überblick über im deutschen Sprachraum verwendete standardisierte Leistungsvalidierungstests, die nach dem Prinzip der Alternativwahlverfahren oder daraus abgeleiteter Prinzipien entwickelt wurden. Adaptiert nach Merten, 2014.</i>	142
Tabelle 13	<i>Reihenfolge der durchgeführten Aufgaben während der neuropsychologischen Untersuchung inklusive Erhebungsmethode, neuropsychologischer Funktion und Dauer der Aufgabe.</i>	145

Abkürzungsverzeichnis

Δ HR	Residuen der Herzrate
Δ sHR	Geglättete Residuen der Herzrate
A	Adrenalin
AC	<i>Active Coping</i>
ANS	Autonomes Nervensystem
AV-Knoten	Atrioventrikular-Knoten
BD	Blutdruck
BDV	Blutdruckvariabilität
BS	Hirnstamm (engl. <i>brainstem</i>)
CeA	Zentraler Kern der Amygdala (engl. <i>central nucleus of the amygdala</i>)
bpm	<i>Beats per Minute</i> (engl.; Schläge pro Minute)
CAN	<i>Central Autonomic Network</i> (engl.; Zentrales autonomes Netzwerk)
CVLM	Kaudale ventrolaterale Medulla
dACC	Dorsaler anteriorer cingulärer Kortex
DRG	Dorsale Wurzelganglia (engl. <i>dorsal root ganglia</i>)
DVN	Nukleus dorsalis nervi vagi (engl. <i>dorsal vagal nucleus</i>)
HF	Hohes Frequenzband (engl. <i>High Frequency</i>)
HF _{nu}	Hohes Frequenzband in normalisierter Einheit
HR	Herzrate
HRV	Herzratenvariabilität
IML	Intermediolaterale Zellkolonne
ISA	Intrakarotide Natrium Amytal Injektion
IX	Nervus Glossopharyngeus (9. Hirnnerv)
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
L	Links
LAH	Lateraler Hypothalamus
LC	Locus Coeruleus
LF	Tiefes Frequenzband (engl. <i>Low Frequency</i>)
LF _{nu}	Tiefes Frequenzband in normalisierter Einheit
LF/HF	Verhältnis von LF zu HF
LI	Linke Insula

LTH	Linkes temporales Hämatom
M	Mittelwert
MCA	Arteria cerebri media
mBS	Medullärer Hirnstamm
MMPI-2	Minnesota Multiphasic Personality Inventory 2
mPFC	Medialer präfrontaler Kortex
NA	Nukleus Ambiguus
NAdr	Noradrenalin
NC	Non-Coping
NEmo	Netzwerke der Emotionserkennung
NG	Ganglion Nodosum
n-mBS	Nicht-medullärer Hirnstamm
NTS	Nukleus Traktus Solitarii
n.u.	Normalisierte Einheit (engl. <i>normalized units</i>)
pACC	Posteriorer anterior cingulärer Kortex
PAG	Periaquäduktale Grau
pCC	Posteriorer cingulärer Kortex
PG	Ganglion Petrosus
R	rechts
RI	Rechts insulär
RTH	Rechtes temporales Hämatom
PVN	Paraventriculärer Nukleus
RATZ	Relativer Anstieg der Trefferquote gegenüber der Zufallstrefferquote
RMSSD	Wurzel des Mittelwerts der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle (engl. <i>root mean square of successive differences</i>)
RSA	Respiratorische Sinusarrhythmie
RVLM	Rostral ventrolaterale Medulla
RWT	Regensburger Wortflüssigkeitstest
SA-Knoten	Sinusknoten
SD	Standardabweichung (engl. <i>Standarddeviation</i>)
SDNN	Standardabweichung der RR-Intervalle (engl. <i>standard deviation of successive RR-Intervals</i>)
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
SY	Sympathische Aktivierung

TAP	Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung
Task Force	Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology
TLE	Temporallappenepilepsie
VLMT	Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest
WIE	Wechsler Intelligenztest für Erwachsene
WMS	<i>Wechsler Memory Scale</i>
WWS	Wearable Wellness System
X	Vagusnerv (10. Hirnnerv)

Einleitung

Ziel einer neuropsychologischen Untersuchung ist es, allfällige Funktionsbeeinträchtigungen zu objektivieren und diese Funktionsbeeinträchtigungen Hirnfunktionen zuzuschreiben. Dazu werden neuropsychologische Testverfahren eingesetzt, mit denen die individuellen Leistungsgrenzen als populationsstatistische Kennwerte erfasst werden. Diese Herangehensweise basiert auf der impliziten Annahme, dass die Leistung des Exploranden nur durch die zugrundeliegenden Hirnfunktionen begrenzt ist und nicht durch persönliche Motive oder äussere Anreize limitiert wird. Das heisst, er ist motiviert, die Aufgabe so gut wie möglich zu bearbeiten und hat dementsprechend auch die Bereitschaft, die bestmögliche Leistung zu zeigen. Dementsprechend zeigt der Explorand dann ein hinreichendes Leistungsverhalten. Zu Leistungseinbussen kommt es demnach dann, wenn eine Funktionsstörung des Gehirns vorliegt; dabei können Wahrnehmung, Sprache, Gedächtnis, Exekutivfunktionen, Aufmerksamkeit und Motorik betroffen sein.

Eine valide Interpretation geminderter Testresultate ist äusserst wichtig, da eine fehlerhafte Einschätzung der Ursachen von Minderleistungen erhebliche unerwünschte Konsequenzen haben kann. Zu einer fehlerhaften Einschätzung kann es kommen, wenn Minderleistungen unter der fälschlichen Annahme authentischer kognitiver Beeinträchtigungen interpretiert werden. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn für den Exploranden bei Minderleistungen ein finanzieller Anreiz in Aussicht gestellt wird (Flaro, Green & Robertson, 2007; Rohling, Binder & Langhinrichsen-Rohling, 1995).

Die möglichst erfolgreiche Bearbeitung neuropsychologischer Testaufgaben setzt ein hinreichendes Leistungsverhalten voraus. Die Bearbeitung einer Aufgabe ist stets mit einer Bewertung des Nutzens (Valuation) und der Kosten verbunden, die als Opportunitätskosten zusammengefasst werden können. Nach Kurzban, Duckworth, Kable und Myers (2013) wird diese Bewertung mit zunehmend überwiegenden Kosten der aktuellen Tätigkeit als ein Gefühl von mentaler Anstrengung repräsentiert. In der vorliegenden Arbeit wird mentale Anstrengung dementsprechend als Empfindung definiert, die insbesondere im Zusammenhang mit der Bereitschaft, eine Aufgabe aktiv zu bewältigen (*Active Coping*), auftritt, da dies immer mit Kosten verbunden und als „Qualia“ zu verstehen ist (Kurzban et al., 2013). Mentale Anstrengung im Sinne einer Qualia, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet wird, ist abzugrenzen von mentaler Anstrengung im Sinne subjektiver Ressourcenallokation, wie sie von Brehm und Self (1989) beschrieben wird. Die subjektiv empfundene mentale Anstrengung ist in der Regel aversiv und fördert dadurch die Umverteilung kognitiver Prozesse zu Aufgaben mit tieferen Opportunitätskosten (z.B.

Tagträumen; Inzlicht, Berkman & Elkins-Brown, 2016; Kurzban, 2016; Kurzban et al., 2013) und beeinflusst somit das Leistungsverhalten, da zu hohe Opportunitätskosten den Exploranden motivieren, die aktuelle Tätigkeit zu beenden. Die subjektiv empfundene mentale Anstrengung und das Leistungsverhalten spielen somit eine essentielle Rolle im Rahmen einer neuropsychologischen Untersuchung und sollten daher zentrale Aspekte in der Beurteilung neuropsychologischer Testleistungen darstellen.

Um Leistungsverhalten im Rahmen einer neuropsychologischen Untersuchung zu überprüfen, werden Leistungsvalidierungstests (LVT) eingesetzt. Unter dem Begriff LVT werden Verfahren zusammengefasst, die dem Exploranden als Leistungstest präsentiert werden, jedoch eine Messung des Leistungsverhaltens beabsichtigen, um zu beurteilen, ob der Explorand selbstlimitierendes Leistungsverhalten zeigt und somit nicht authentische Minderleistungen erbringt (Merten, 2005). Die Objektivierung des Leistungsverhaltens mittels standardisierter Verfahren ist insofern wichtig, als sich auch Experten leicht täuschen lassen, wenn sie sich auf ihren klinischen Eindruck verlassen. So erkennen Experten ein selbstlimitierendes Leistungsverhalten nur in 50% bis 67% der Fälle, was nicht oder nur wenig über der Ratewahrscheinlichkeit liegt (Ekman, O'Sullivan & Frank, 1999; Faust, 1995; Faust, Hart, Guilmette & Arkes, 1988). Doch auch für den Einsatz von LVT gilt, dass sich die Frage des Leistungsverhaltens nicht ausschliesslich durch die Testresultate der LVT beantworten lässt, sondern immer in den Gesamtkontext der Untersuchung sowie aller verfügbaren Informationen (Anamnese, Vorbefunde etc.) eingeordnet werden muss (Widder, 2011). Dies, da auch die isolierte Betrachtung der Ergebnisse der LVT ohne Berücksichtigung der kognitiven Grundvoraussetzungen, wie etwa im Rahmen einer demenziellen Erkrankung, zu groben Fehlinterpretationen mit erheblichen Konsequenzen führen kann (Teichner & Wagner, 2004). Da die einzelnen Verfahren jeweils nur eine Wahrscheinlichkeitsaussage über das Vorliegen von selbstlimitierendem Leistungsverhalten innerhalb ihres Anwendungsbereichs liefern, ist es unabdingbar, sie nur im Zusammenhang mit anderen Verfahren und Informationen als Stütze für das Gesamturteil beizuziehen (Nies & Sweet, 1994). Obwohl Nies und Sweet bereits 1994 erkannten, dass die einzelnen LVT nicht ausreichend effizient sind und immer in Kombination mit weiteren LVT zum Einsatz kommen müssen, wird dies bis heute oftmals vernachlässigt (Bianchini, Mathias & Greve, 2001; Boone, Victor, Wen, Razani & Ponton, 2007; Heilbronner, Sweet, Morgan, Larrabee & Millis, 2009; Henry, Heilbronner, Mittenberg, Enders & Domboski, 2009; Larrabee, Greiffenstein, Greve & Bianchini, 2007; Merten, 2005; Merten & Dettenborn, 2009).

Wenngleich sich die Verfahren hinsichtlich ihres Testprinzips und ihrer Gütekriterien stark unterscheiden, ist eine kritische Haltung gegenüber dem Einsatz von LVT angebracht, da sie auch nach über drei Jahrzehnten intensiver Forschung häufig mit erheblichen methodischen und ethischen Problemen behaftet sind. So gilt es aus ethischer Perspektive, eine minimale falsch-positive Rate (hohe Spezifität) zu fordern (J. Kool, Meichtry, Schaffert & Rüesch, 2008). Diese kann aber wiederum die Wahrscheinlichkeit reduzieren, eine Person mit suboptimalem Leistungsverhalten zu entdecken (Sensitivität).

Zusätzlich ist es ethisch problematisch, dass bei vielen LVT die Aufgaben anspruchsvoll scheinen, obwohl sie so konzipiert sind, dass sie grundsätzlich auch für Personen mit massiven kognitiven Beeinträchtigungen einfach zu bewältigen sind (Merten, 2014). Ethisch sind diese Aspekte der bewussten Täuschung eines Exploranden durch die fehlende Transparenz der diagnostischen Ziele bedenklich, da so letztlich die Exploranden mit Täuschung des Betrugs überführt werden sollen (S. S. Bush, 2013). Dieses Vorgehen wird jedoch dadurch gerechtfertigt, dass der Explorand einerseits zu Beginn der Untersuchung über die Durchführung von LVT informiert wird. Andererseits sei die Täuschung des Exploranden ethisch gerechtfertigt, wenn der Nutzen der Täuschung die möglichen Risiken überwiegt (S. S. Bush, 2013).

Umstritten ist ausserdem der angemessene Einsatzzeitpunkt von LVT während der Untersuchung, da sich das Leistungsverhalten eines Exploranden im Laufe der Untersuchung verändern kann (Boone, 2009, 2013; Heilbronner et al., 2009). Die LVT erlauben nur eine punktuelle Untersuchung des Leistungsverhaltens. Dennoch wird heute vom auffälligen Abschneiden eines Exploranden in einem oder bestenfalls mehreren LVT auf sein Leistungsverhalten während der gesamten Untersuchung geschlossen. Die Durchführung mehrerer unterschiedlicher LVT zu mehreren Zeitpunkten ist zwar anzustreben (S. S. Bush et al., 2005; Heilbronner et al., 2009), da auffällige Ergebnisse in einzelnen BVT nicht selten vorkommen. Die Durchführung mehrerer Verfahren birgt jedoch andere Gefahren (Dean, Victor, Boone & Arnold, 2008; Meyers & Volbrecht, 2003). Je mehr LVT eingesetzt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein diagnostisch falsch-positives Testergebnis in einem LVT durch Zufall zustande kommt (Odland, Lammy, Martin, Grote & Mittenberg, 2015). Dementsprechend kann die Zahl der eingesetzten LVT einerseits aus statistischen Gründen und andererseits aus zeitökonomischen Gründen nicht beliebig erhöht werden, was die Grenzen klassischer LVT deutlich macht. Ein nichtinvasives, kontinuierliches Monitoring des Leistungsverhaltens könnte diese Probleme lösen.

Erin Bigler (2015) fordert, dass aus Erkenntnissen der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) in Abhängigkeit der zugrundeliegenden Pathologie unterschiedliche Grenzwerte für LVT definiert werden. Denn unabhängig davon wie einfach die Aufgabe tatsächlich sei, kann eine bestimmte Verletzung des Hirns neuronale Netzwerke betreffen, die für die Aufgabenbearbeitung und die Testleistung benötigt werden. Generell werden daher neue, gut validierte Verfahren gefordert, um eine verbesserte Beurteilung der Authentizität kognitiver Minderleistungen zu gewährleisten (Sollman & Berry, 2011). Dies könnte nicht nur durch fMRT erzielt werden, sondern auch durch andere elektrophysiologische Techniken wie beispielsweise mittels Elektroenzephalographie (EEG) oder auch Elektrokardiographie (EKG; Bigler, 2014, 2015). Um den Untersuchungsablauf möglichst wenig zu stören und den Exploranden möglichst nicht einzuschränken, bietet sich die Aufzeichnung des Herzschlags an. Bis heute wurden die Erkenntnisse von fMRT-, EEG- oder EKG-Studien jedoch nicht für die Entwicklung von LVT genutzt (Bigler, 2015).

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist daher die Entwicklung eines Verfahrens, das das Leistungsverhalten, also ob der Explorand versucht, die Aufgaben aktiv so gut wie möglich zu bearbeiten, über die gesamte Untersuchungsdauer erfasst und somit Aufschluss über die Mitarbeit des Exploranden während der gesamten Untersuchungsdauer gibt. Angestrebt wird ein Verfahren, welches sich ohne Störwirkung in die neuropsychologische Untersuchung integrieren lässt und dessen Ergebnisse weder vom Untersuchenden noch vom Exploranden bewusst beeinflusst werden können. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass zahlreiche Studien einen Zusammenhang zwischen der aktiven Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben und psychophysiologischen Messwerten nahelegen (Cacioppo, 1977; Henelius, Hirvonen, Holm, Korpela & Muller, 2009; Jorna, 1992; Mukherjee, Yadav, Yung, Zajdel & Oken, 2011; Stewart, Wright, Hui & Simmons, 2009; Stuiver et al., 2012; Van Roon, Mulder, Althaus & Mulder, 2004).

Als Index für eine erfolgreiche Aufgabenbearbeitung mit hinreichendem Leistungsverhalten werden häufig die Herzrate (HR) und daraus abgeleiteten Herzratenvariabilitätsparameter (HRV) verwendet (Jorna, 1992; Van Roon et al., 2004). Eine umfassende Studie von Mukherjee et al. (2011) hat ergeben, dass HR und HRV als reliable und sensitive Indikatoren der Objektivierbarkeit des Leistungsverhaltens angesehen werden können. Der grosse Vorteil dieser Methode für das hier thematisierte Anwendungsgebiet könnte darin bestehen, dass sie ein kontinuierliches psychophysiologisches Monitoring des Leistungsverhaltens ermöglicht und im Wissen aller Beteiligten zu jedem Zeitpunkt der neuropsychologischen Untersuchung Informationen über das Leistungsverhalten abbilden

kann. Die Herausforderung und Chance liegt hierbei insbesondere darin, selbstlimitierendes Leistungsverhalten bei Exploranden zu entdecken, bei denen die Befundlage bis anhin unklar oder widersprüchlich war.

Vor allem im Rahmen von Begutachtungen im forensischen oder zivil-, sozial- und verwaltungsrechtlichen Kontext kann die Diagnose eingeschränkter kognitiver Leistungsfähigkeit mit externen Vergünstigungen, z.B. einer Rente oder Entschädigung, verknüpft sein. Das kann dazu führen, dass der Explorand finanzielle und soziale Anreize hat, Beschwerden auszuweiten, in übertriebenem Masse zu präsentieren oder gänzlich vorzutäuschen, um eine Kompensationsleistung zu erhalten. Die bisher eingesetzten Verfahren zur Validierung von Beschwerden sind allerdings teilweise durchschaubar. Wenn der Zweck der Verfahren für Laien schnell erkennbar ist, sind die Testergebnisse anfällig für Manipulationen (F. Walter, 2011).

Eine reliable, objektive Beurteilung des Leistungsverhaltens und der damit zusammenhängenden subjektiven Empfindung mentaler Anstrengung könnte eine verbesserte medizinische und juristisch belastbare Einschätzung der kognitiven Leistungsfähigkeit des Exploranden ermöglichen. Im Gegensatz zu herkömmlichen LVT kann eine Beurteilung des Leistungsverhaltens mittels HR und HRV mit Wissen aller Beteiligten stattfinden, da der psychophysiologische Zugang die Gefahr der Verfälschung der Testresultate reduziert.

1 Leistungsvalidierung

Im Rahmen einer neuropsychologischen Untersuchung werden allfällige Beeinträchtigungen und die Integrität kognitiver und psychischer Funktionen erfasst, um Störungen zu erkennen, diese hinsichtlich des Schweregrads bewerten zu können (Frei et al., 2016) und Hirnfunktionen zuzuschreiben. Die kognitiven Hirnfunktionen lassen sich in Basis- und Werkzeugfunktionen einteilen. Die Basisfunktionen umfassen Orientiertheit, Emotionalität, Persönlichkeit, Antrieb und Aufmerksamkeitsfunktionen. Eine Störung der Basisfunktionen kann auch andere Hirnfunktionen beeinflussen, unter anderem die Werkzeugfunktionen. Diese umfassen Gedächtnis, Sprache, visuokognitive, -konstruktive und exekutive Funktionen, Praxis sowie Gnosis. Diese können hingegen auch weitgehend isoliert gestört sein (Sturm & Wallesch, 2007). Beeinträchtigungen der kognitiven Leistungsfähigkeit können nicht nur infolge hirnerkranklicher Schädigungen oder körperlicher Erkrankungen zustande kommen, sondern lassen sich auch bei fast allen psychischen Störungen, insbesondere bei affektiven Störungen, Schizophrenien, hyperkinetischen Störungen oder Persönlichkeitsstörungen feststellen (Falkai & Wittchen, 2015, S.811; Lautenbacher & Gauggel, 2004). Zur zuverlässigen Quantifizierung der Leistungsfähigkeit kognitiver Funktionen ist der Einsatz standardisierter neuropsychologischer Testverfahren zwingend (Hartje, 2006). Lassen sich aufgrund der Resultate dieser Verfahren Minderleistungen nachweisen, ist eine zuverlässige Einschätzung ihrer Ursachen äusserst wichtig (Hartje, 2006), um ihre Validität sicherzustellen.

1.1 Zum Begriff der Leistungsvalidierung

Die Glaubhaftigkeit präsentierter und geschilderter Beschwerden sowie gezeigter Leistungen in (neuro-)psychologischen Tests wird im deutschsprachigen Raum bis heute unter dem Begriff Beschwerdenuvalidität (engl. *symptom validity*) zusammengefasst (Merten & Dettenborn, 2009).

Nach Kenntnis der Autorin wird die Beschwerdenuvalidierung im englischsprachigen Raum – im Gegensatz zum deutschsprachigen Raum – seit einigen Jahren in zwei Kategorien unterteilt, nämlich in eine Validierung der gezeigten Testleistungen und in eine Validierung der berichteten Beschwerden. Glenn Larrabee (2012) weist darauf hin, dass bei der Validierung der Testleistungen eigentlich eine Leistungsvalidierung stattfindet und nicht eine Beschwerdenuvalidierung, weshalb diese beiden Aspekte nicht unter einem Begriff zusammengefasst werden können. Er schlägt dementsprechend vor, die Beschwerdenuvalidität

in zwei Kategorien zu unterteilen. Er schlägt zum einen den Begriff Leistungsvalidität (engl. *performance validity*) vor, der sich auf die Validität der tatsächlichen Leistungsfähigkeit bei der Aufgabenbearbeitung bezieht, wie sie durch Tests wie zum Beispiel den *Word Memory Test* (Green, 2003) erfasst werden kann. Andererseits soll der Begriff der Beschwerdenvolidität (engl. *symptom validity*) nur für die Validität berichteter Beschwerden, z.B. in Selbstberichten oder in Fragebogenverfahren wie dem *Minnesota Multiphasic Personality Inventory 2* (MMPI-2), verwendet werden.

Um eine differenzierte Beurteilung der Leistungs- und Beschwerdenvolidierung zu fördern, schlägt die Autorin vor, dass im deutschsprachigen Raum künftig ebenfalls die Begriffe Leistungsvalidierung und Beschwerdenvolidierung verwendet werden. Dementsprechend wird nachfolgend in Leistungsvalidierung und Leistungsvalidierungstests (LVT) sowie Beschwerdenvolidierung und Beschwerdenvolidierungstests (BVT) unterteilt, wobei in dieser Arbeit auf die Leistungsvalidierung und LVT fokussiert wird.

1.2 Leistungsvalidität und Beschwerdenvolidität

Dass sich die Validität nicht allein anhand der Testleistungen beurteilen lässt und sich der Untersucher dabei nicht auf den klinischen Eindruck verlassen kann, ist aus der Forschung längst bekannt (Ekman et al., 1999; Faust, 1995; Faust et al., 1988). Um eine gültige Aussage zur Testmotivation des Exploranden oder zu seiner Fähigkeit zu kooperieren (Kooperabilität) sowie zur Mitarbeit während der Untersuchung (Kooperativität) des Exploranden tätigen zu können, muss eine Überprüfung der Validität der Testleistung erfolgen. Diese sollte jedoch nicht allein aufgrund der vorliegenden Testleistung beurteilt werden, sondern auch die Sichtung der medizinischen Akten, den Selbstbericht des Exploranden, Verhaltensbeobachtungen durch den Untersucher und eine umfassende neuropsychologische Untersuchung mit LVT¹ und BVT beinhalten (Slick, Sherman & Iverson, 1999). Wird die gezeigte Leistung in einem oder mehreren neuropsychologischen Testverfahren als unterhalb der tatsächlichen, also der möglichen Leistungsvoraussetzungen des Exploranden eingeschätzt, wird von negativer Antwortverzerrung gesprochen. Diese ist unabhängig davon, ob es sich um eine bewusste Vortäuschung von Leistungsdefiziten oder um den Einfluss anderer Faktoren wie Müdigkeit, Erschöpfung, Schmerz, Angst, schwere Depression etc. handelt (Widder, 2011). Im Rahmen negativer Antwortverzerrungen können Schilderungen körperlicher, psychischer oder kognitiver Beschwerden erfunden oder übertrieben sein.

¹ Unter LVT werden alle psychometrischen Verfahren, Testwerte und Indikatoren verstanden, die zur Erkennung simulativer Tendenzen in jeder ihrer potentiellen Erscheinungsformen verwendet werden (Greve & Bianchini, 2009; Larrabee, 2012).

Ebenfalls können sich im Verhalten äussernde Symptome erfunden oder in übertriebenem Ausmass dargestellt werden. Dazu gehört auch selbstlimitierendes Leistungsverhalten² in (neuro-)psychologischen Tests.

Frederick und Bowden (2009) unterscheiden zwei Hauptdimensionen selbstlimitierenden Leistungsverhaltens. Die erste Dimension beschreibt absichtliches Vortäuschen kognitiver Störungen und umfasst Simulation und Aggravation. Die Aggravation wird als Ausweitung oder Übertreibung tatsächlich vorliegender Beschwerden definiert, um z.B. den Erhalt einer Kompensationsleistung oder den Erlass einer Massnahme zu erreichen oder soziale Vorteile wie Aufmerksamkeit zu gewinnen (sekundärer Krankheitsgewinn; Widder, 2011). Die Simulation hingegen meint die absichtliche, reflektierte und zweckvolle Vortäuschung von nicht bestehenden Symptomen oder die fälschliche Beschwerdenschilderung (J. Kool et al., 2008).

Die zweite Dimension umfasst Verhaltensweisen, denen keine Absicht zugrunde liegt, etwas vorzutäuschen, sondern eine eingeschränkte Motivation, an der Untersuchung mitzuwirken (vergleiche Tabelle 1). Neben mangelnder Motivation schliesst diese Dimension auch selbstlimitierendes Leistungsverhalten ein, das durch eine artifizielle, somatoforme oder dissoziative Störung bedingt ist und nicht absichtlich gezeigt wird (Merten, 2014). Für eine Übersicht vergleiche Tabelle 1.

Tabelle 1

Die Unterscheidung zwischen drei wichtigen Kategorien nicht-organisch bedingter Beschwerden beruht ausschliesslich auf der Beurteilung von innerpsychischen Prozessen des Exploranden, die dem Untersucher nicht direkt zugänglich sind (adaptiert nach Merten, Stevens, & Blaskewitz, 2009)

Diagnostische Kategorie	Beschwerdenschilderung oder Symptomerzeugung	Zugrundeliegende Motivation
Simulation / Aggravation	Absichtlich, vorsätzlich („bewusst“)	Reflektiert („bewusst“)
Artifizielle Störung ³	Absichtlich, vorsätzlich („bewusst“)	Unreflektiert („unbewusst“)
Somatoforme Störungen ⁴ / Dissoziative Störungen ⁵	Unbeabsichtigt, nicht gesteuert („unbewusst“)	Unreflektiert („unbewusst“)

² Selbstlimitierendes Leistungsverhalten beschreibt das Verhalten eines Exploranden während einer neuropsychologischen Untersuchung, bei dem er nicht sämtliche Möglichkeiten zur bestmöglichen Bearbeitung der Aufgabe ausschöpft (auch suboptimales Leistungsverhalten genannt; Merten, 2014).

³ Zielgerichtete Vortäuschung oder Erzeugung von Symptomen oder Krankheit mit primärem Krankheitsgewinn als Ausdruck der psychischen Störung (Widder, 2011)

⁴ „Als psychische Störung aufgefasste Befindlichkeits- und Verhaltensstörungen, die sich in Form körperlicher Symptome oder Krankheiten äussern“ (Widder, 2011)

⁵ Bei der dissoziativen Störung nehmen Patienten neurologische Symptome wahr (bspw. Taubheit, Blindheit, Lähmung etc., wofür aber keine neurologische Ursache gefunden werden kann (World Health Organization, 2004).

Diese beiden Dimensionen können in einer Vier-Felder-Tafel angeordnet werden, wobei bei der Simulation bei vorhandener Täuschungsabsicht eine hohe Motivation besteht und somit unten rechts zu verorten ist, wie in Abbildung 1 dargestellt.

<i>Motivation</i>	<i>Täuschungsabsicht</i>	
	nicht vorhanden	vorhanden
niedrig	Erzeugung eines ungültigen Testprofils aufgrund mangelnder Kooperativität (inkonsistente Ergebnisse)	Erzeugung eines ungültigen Testprofils bei Täuschungsabsicht (irrelevante Ergebnisse)
hoch	Gültiges Testprofil bei einem kooperativen Exploranden (Ergebnisse bei Compliance)	Zielgerichtete Erzeugung eines ungültigen Testprofils bei Täuschungsabsicht (gezielte manipulierte Ergebnisse)

Abbildung 1. Mögliches Verhalten von Exploranden in einer neuropsychologischen Untersuchung und entsprechende Testprofile (adaptiert nach Frederick & Bowden, 2009)

1.3 Ungültige Testergebnisse

Der Einfluss von selbstlimitierendem Leistungsverhalten ist nicht zu unterschätzen. So können Testleistungen stärker durch die dem Leistungsverhalten zugrundeliegende Motivation beeinflusst sein als durch das Vorliegen einer traumatischen Hirnverletzung (Green, Rohling, Lees-Haley & Allen, 2001). Die Validierung der Beschwerden (Beschwerdenvalidierung) und kognitiven Einbussen (Leistungsvalidierung) ist deshalb unverzichtbar und insbesondere im versicherungsmedizinischen Kontext von grosser Bedeutung, wenn die Leistungsfähigkeit des Exploranden beurteilt oder die Behandlungsbedürftigkeit sowie die medizinische oder berufliche Rehabilitation eingeschätzt werden sollen. Einen noch grösseren Stellenwert erhält die Beschwerdenvalidierung bei Gesundheitsbeeinträchtigungen, die schwierig zu objektivieren und deshalb anfällig für Missbrauch sind (z.B. Erschöpfungsneigung, Kopfschmerzen).

Ungültige Testprofile können aufgrund von Inkonsistenzen zwischen der beobachteten und der erwarteten Schwere der kognitiven Beeinträchtigung (Demakis et al., 2001) sowie von Testleistungen, die aus neuropsychologischer Sicht keinen Sinn ergeben oder inkonsistent mit der dargestellten Erkrankung sind, identifiziert werden (Larrabee, 1990, 2003; Mittenberg, Aguila-Puentes & Patton, 2003). Eine weitere Möglichkeit, ungültige Testprofile

zu entdecken, besteht dann, wenn sich Testleistungen über mehrere Untersuchungszeitpunkte hinweg auf nicht plausible Weise verändern (Cullum, Heaton & Grant, 1991; Reitan & Wolfson, 1997).

1.4 „Überwindbarkeitspraxis“

Bis vor wenigen Jahren herrschte in der Schweizer Rechtsprechung die Annahme, dass für eine authentische neuropsychologische Störung zwingendermassen eine organische Ursache vorliegen und folglich auch nachgewiesen werden müsse. Konnte ein solcher Nachweis nicht erbracht werden, wurde gefolgert, dass die vom Patienten vorgetragenen Defizite zwingenderweise als nichtauthentische Beschwerden bewertet werden müssen. Diese Ansicht wurde 2004 durch die Einführung der sogenannten „Überwindbarkeitspraxis“ durch das Schweizerische Bundesgericht zumindest teilweise korrigiert (BGE 130 V352). In dieser Bundesgerichtsentscheid wird festgehalten, dass neu auch eine Person mit organisch nicht nachweisbaren und dementsprechend unklaren Beschwerden⁶ authentische Beschwerden haben kann, diese aber mit einer zumutbaren Willensanstrengung überwinden könne und daher nicht als arbeitsunfähig einzustufen sei. Das heisst, dass nach der Einführung der Überwindbarkeitspraxis zwar attestiert wurde, dass organisch nicht nachweisbare Beschwerden authentisch sein können, jedoch in jedem Fall überwindbar und somit nicht rentenrelevant sind. Diese Ansicht ist in Fachkreisen umstritten (Jeger, 2014) und die entsprechende Rechtsprechung zur Überwindbarkeitspraxis wurde Anfang Juni 2015⁷ revidiert. Einer Medienmitteilung vom 17. Juni 2015 ist zu entnehmen, dass das Bundesgericht „die Praxis zur Beurteilung des Anspruchs auf eine Invalidenrente wegen somatoformer Schmerzstörungen und vergleichbarer psychosomatischer Leiden“ ändert (Medienmitteilung des Bundesgerichts, 2015, S.1). Ein zentraler Punkt der Praxisänderung betreffe dabei die „Überwindbarkeitsvermutung“. Nachdem bisher davon ausgegangen worden sei, dass psychosomatische Leiden mit zumutbarer Willensanstrengung überwindbar seien und die Betroffenen somit keinen Anspruch auf eine IV-Rente haben, solle in Zukunft ein strukturiertes Beweisverfahren eingeführt werden. Dieses Beweisverfahren solle erlauben, „das tatsächlich erreichbare Leistungsvermögen der betroffenen Person in einer

⁶ Dazu gehören laut der sozialrechtlichen Abteilung des Bundesgerichts die anhaltende somatoforme Schmerzstörung (BGE 130 V 352), Fibromyalgie (BGE 132, V 65), dissoziative Sensibilitäts- und Empfindungsstörungen (SVR 2007, IV NR. 45; Urteil des BGer I 9/07 vom 9. Februar 2007), HSW Distorsion ohne nachweisbare organische Funktionsausfälle (BGE 136 V 279), nichtorganische Hypersomnie (BGE 137 V64), Neurasthenie (SVR 2001 IV Nr. 17, Urteil des BGer 9C_98/2010 vom 28. April 2010, SVR 2011 IV Nr. 26, Urteil des BGer 9C 662/2009 vom 17. August 2010) sowie das chronische Müdigkeitssyndrom (chronique fatigue syndrome mit Ausnahme der *cancer related fatigue* (BGE 139 V 346).

⁷ Urteil 9C_492/2014

Gesamtbetrachtung einzelfallgerecht und ergebnisoffen zu beurteilen“ (Medienmitteilung des Bundesgerichts, 2015, S.2). An der „gesetzlichen Voraussetzung, dass eine invalidisierende Erwerbsunfähigkeit nur dann vorliegen kann, wenn sie aus objektiver Sicht als unüberwindbar scheint“, ändere sich durch die neue Rechtsprechung jedoch nichts (Medienmitteilung des Bundesgerichts, 2015, S.2).

Unabhängig von der Diskussion zur Überwindbarkeitspraxis ist es wichtig festzuhalten, dass die Validität eines Beschwerdebildes nicht vom Nachweis eines organischen Korrelats abhängig gemacht werden darf, sondern im neuropsychologischen Kontext anhand diverser Verfahren der Beschwerden- und Leistungsvalidierung zu beurteilen ist (Frei et al., 2016). Eine ausführliche Prüfung der Leistungsvalidität ist unumstritten von grosser Wichtigkeit, denn die Betrachtung der Auftretensrate ungültiger Testergebnisse (negativer Antwortverzerrungen) ist alarmierend. Eine grossangelegte Studie zur Auftretenshäufigkeit ungültiger Testprofile bei Gutachtenpatienten, die durch selbstlimitierendes Leistungsverhalten zustande kamen, ergab eine Auftretenshäufigkeit von ca. 40% (Larrabee, 2003). Ungültige Testprofile treten bei Patientengruppen mit leichten Schädel-Hirn-Traumata, Fibromyalgie und chronischem Müdigkeitssyndrom (engl. *chronic fatigue syndrom*) deutlich häufiger auf (Larrabee, 2003; Mittenberg, Patton, Canyock & Condit, 2002).

Eine Prävalenzschätzung für den deutschen Sprachraum aus dem Jahr 2008 zeigt, dass im Rahmen von neurologischen und psychologischen Untersuchungen, die im rechtlichen oder versicherungsmedizinischen Kontext stattfanden, 44% aller Exploranden auffällige Testergebnisse, die auf selbstlimitierendes Leistungsverhalten verweisen, aufwiesen (Stevens, Friedel, Mehren & Merten, 2008). Es ist jedoch zu beachten, dass diese Ergebnisse abhängig vom Untersuchungskontext, von der untersuchten Population, der Anzahl verwendeter Verfahren etc. sind und teils erheblich variieren. Erste Zahlen für die Schweiz sind kürzlich erschienen und bestätigen bisherige Prävalenzschätzungen aus dem englischen und deutschen Sprachraum. Insgesamt zeigen 27.5% bis 34.3% der insgesamt 455 Exploranden, die in einem medizinisch-rechtlichen Kontext untersucht wurden, auffällige Testergebnisse (Plohmman & Hurter, 2017). Negative Antwortverzerrungen sind am häufigsten in gutachtlichen Untersuchungen zu finden, da bei diesen ein erheblicher externaler Störungsgewinn, wie beispielsweise der Erhalt von Versicherungsleistungen, mit der Untersuchung verbunden ist (S. S. Bush et al., 2005; Merten, 2014). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, insbesondere im gutachtlichen Kontext Informationen zur Validität der Testleistungen und berichteten Beschwerden zu sammeln und diese fachgemäss zu beurteilen. Darüber hinaus sei es

zwingend, den Explorand über seine Mitwirkungspflicht aufzuklären, damit die Leistungsvalidität sichergestellt werden könne.

Der Explorand soll ebenfalls darüber informiert werden, dass ein Teil der Untersuchung auch dazu dient zu erkennen, wie zuverlässig die gegebenen Antworten sind und wie sehr er sich bei den Testaufgaben um gute Leistungen bemüht. Es ist jedoch nicht angemessen, dem Exploranden mitzuteilen, in welcher Art und Weise und zu welchem Zeitpunkt diese Beurteilung vorgenommen wird (S. S. Bush, 2009).

1.5 Kriterien der Beschwerden- und Leistungsvalidierung

Die Beschwerdvalidierung und die Leistungsvalidierung bilden zusammen den Prozess, der zur Aussage über die Validität der Testleistungen führt. Zur standardisierten Beurteilung der Beschwerden- und Leistungsvalidität gibt es international anerkannte Leitlinien von Slick (Slick et al., 1999) und Bianchini (Bianchini, Greve & Glynn, 2005) sowie eine revidierte Fassung der Leitlinien von Slick (Slick & Sherman, 2013). Diese Leitlinien vermitteln eine allgemeine Vorgehensweise zur Überprüfung der Beschwerden- und Leistungsvalidität, die sowohl die Durchführung von BVT und LVT als auch die Berücksichtigung des Begutachtungskontexts sowie die Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung umfasst.

Im Rahmen des Begutachtungskontexts wird berücksichtigt, ob ein Anreiz für selbstlimitierendes Leistungsverhalten besteht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn für den Exploranden die Aussicht auf eine Rente besteht. Ebenfalls setzen die Leitlinien den Einbezug medizinischer Diagnosen bei der Interpretation der Testergebnisse voraus.

Die Konsistenzprüfung und die Plausibilitätsprüfung zählen zu den wohl am häufigsten, jedoch am wenigsten zuverlässigen Methoden, um negative Antwortverzerrungen zu identifizieren (Merten & Dohrenbusch, 2012). Larrabee (2005) fasst die für die Neuropsychologie wichtigsten vier Konsistenzprobleme zusammen, die bei einer Konsistenzprüfung berücksichtigt werden müssen. (1) Die Daten müssen sowohl innerhalb der einzelnen als auch zwischen den einzelnen neuropsychologischen Funktionsbereichen konsistent sein und (2) das neuropsychologische Störungsprofil muss mit den geltend gemachten oder vermuteten Erkrankungen oder Verletzungen vereinbar sein. (3) Die dokumentierte Schwere der Verletzung oder Erkrankung muss mit den neuropsychologischen Daten konsistent sein und (4) die neuropsychologischen Daten müssen mit dem tatsächlichen Verhalten, das der Explorand zeigt, vereinbar sein. Konsistent sind Angaben und

neuropsychologische Daten, wenn sie logisch übereinstimmen respektive inhaltlich miteinander vereinbar sind (Merten & Dohrenbusch, 2012).

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung werden die Angaben und Verhaltensweisen des Exploranden auf Übereinstimmung mit erfahrungsmässigen und wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen überprüft (Merten & Dohrenbusch, 2012). Plausibel ist eine Angabe oder ein gezeigtes Verhalten dann, wenn es glaubhaft, verständlich oder überzeugend ist und mit dem wissenschaftlichen Deutungsrahmen vereinbar ist. (Merten & Dohrenbusch, 2012). Als Beispiel für nicht plausible Angaben nennen Merten und Dohrenbusch (2012) eine Person, die immer wieder betone, an Schmerzen zu leiden, jedoch zugleich angebe, nichts gegen die Schmerzen zu unternehmen.

Plausibilitätsprüfungen setzen einen wissenschaftlichen Deutungsrahmen voraus, um Verhalten oder Äusserungen miteinander in Beziehung setzen zu können, und erfordern, dass Angaben oder Beobachtungen in ein bestimmtes Denkmodell oder einen Interpretationszusammenhang eingebettet werden, wozu implizite oder explizite Erwartungen an die Ausprägung oder die Funktion der erfassten Merkmale miteinbezogen werden müssen. Wenn immer möglich sollte die Plausibilitätsprüfung auf wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen abgestützt werden (Merten & Dohrenbusch, 2012). Plausibilitätsprüfungen erlauben den Einbezug verschiedener Informationen (Verhaltensbeobachtungen, Aussagen etc.). Es existieren jedoch keine verbindlichen Regelungen, in welchen Situationen und bei welchen Fragestellungen die Plausibilitätsprüfung angewendet werden kann (Merten & Dohrenbusch, 2012).

Es wurden zahlreiche Verfahren und Methoden entwickelt, um negative Antwortverzerrungen entdecken zu können (vgl. Kapitel 1.5). Um die verschiedenen Methoden zu kombinieren und dadurch Simulation und Aggravation (im Englischen als *malingering* zusammengefasst; Merten, 2014) mit variierender Gewissheit zu identifizieren, entwickelten Slick et al. (1999) sogenannte Slick-Kriterien.

Diese umfassen die folgenden vier Kategorien, die der Identifikation von Simulation und Aggravation dienen sollen (Slick et al., 1999). (A) Es muss ein Nachweis eines externen Anreizes für die Aggravation oder Simulation erbracht werden. (B) Aus der neuropsychologischen Untersuchung ergeben sich Hinweise für eine Aggravation/Simulation. (C) Aus der Beschreibung der Beschwerden durch den Exploranden ergeben sich Hinweise für eine Aggravation/Simulation und (D) die negativen Antwortverzerrungen können nicht durch psychiatrische Störungen, neurologische Störungen oder Entwicklungsstörungen erklärt werden. Eine Übersicht über die Slick-Kriterien von 1999 ist in Tabelle 2 zu finden.

Tabelle 2

Slick-Kriterien (Slick et al., 1999) für die Diagnosestellung vorgetäuschter kognitiver Störungen (adaptiert nach Merten 2014).

Kriterium	Erläuterung
A. Identifizierung eines bedeutsamen externalen Störungsgewinns	Eingangskriterium, das für die Feststellung einer Vortäuschung (Simulation oder Aggravation) positiv sein muss
B. Hinweise auf Antwortverzerrungen, die aus der neuropsychologischen Testdiagnostik stammen	B1. Unter-Zufall-Antworten in Alternativwahlverfahren B2. Weitere auffällige Ergebnisse in empirisch gut gestützten Beschwerdenvalidierungstests und –indikatoren B3. Diskrepanz zwischen den Testdaten und bekannten Mustern von Hirnfunktionen/Hirnschädigungen B4. Diskrepanz zwischen den Testdaten und dem beobachteten Verhalten B5. Diskrepanz zwischen den Testdaten und zuverlässigen Informationen von dritter Seite B6. Diskrepanz zwischen den Testdaten und anamnestischen Informationen aus der Aktenlage
C. Hinweise auf Antwortverzerrungen, die aus den gelieferten Angaben des Probanden und der Selbstbeurteilung stammen	C1. Diskrepanzen zwischen den gelieferten Angaben und anamnestischen Informationen aus der Aktenlage C2. Diskrepanzen zwischen der Beschwerdenschilderung und den bekannten Mustern von Hirnfunktionen/Hirnschädigungen C3. Diskrepanzen zwischen der Beschwerdenschilderung und dem beobachteten Verhalten C4. Diskrepanzen zwischen der Beschwerdenschilderung und zuverlässigen Informationen von dritter Seite C5. Hinweise auf eine Übertreibung oder Erfindung psychischer Dysfunktionalität, u.a. aus gut validierten Fragebogenskalen
D. Ausschluss anderer Ursachen	Die Verhaltensweisen, die unter B und C aufgeführt sind, dürfen nicht vollständig durch psychiatrische, neurologische oder Entwicklungsfaktoren erklärbar sein

Je nach Erfüllung dieser vier Kriterien wird im englischsprachigen Raum zwischen *probable* oder *mild* (möglicher), *moderate* (wahrscheinlicher) und *severe* (sicherer) Aggravation oder Simulation unterschieden. Im deutschen Sprachraum werden dafür die Begriffe Symptomverdeutlichung, Aggravation und Simulation verwendet (Dohrenbusch, 2006). Die Symptomverdeutlichung umschreibt ein Verhalten, das der Explorand zeigt, um sicherzugehen, dass der Untersucher ihn ernst nimmt, da er möglicherweise Angst hat, dass die Beschwerden sonst übersehen werden könnten. Dafür beschreibt er seine Beschwerden

leicht übertrieben, stellt sie leicht übertrieben dar oder zeigt eine leicht limitierte Testleistung. Dieses Verhalten wird als legitim eingeschätzt und es wird davon ausgegangen, dass ein solches Verhalten in vielen Untersuchungen gezeigt wird.

Der Begriff Simulation und Aggravation⁸ ist eine international anerkannte Diagnose, die in den Diagnosemanualen ICD-10 (engl. *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*) und DSM-5 (engl. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*) aufgeführt ist und unter dem Begriff vorgetäuschter kognitiver Störungen (engl. *malingered neurocognitive dysfunction*; MND) zusammengefasst wird. Im ICD-10 ist die MND der Zusatzkategorie der Z-Diagnosen (Z76.5) zugewiesen, im DSM-5 der Kategorie „Andere klinisch relevante Probleme“ (V65.2). In beiden Manualen ist die Diagnose sehr vage gehalten, sodass sie wenig zur Beurteilung der Bewusstheit des Verhaltens und der Motivation des Exploranden beiträgt. Diese Schwächen trugen wohl dazu bei, dass sie sich international nicht durchsetzen konnten, und gefordert wird, dass diese Kriterien angepasst werden (Berry & Nelson, 2010). Die Diagnosestellung orientiert sich häufig an den Slick-Kriterien (1999) und den Kriterien von Bianchini (2005).

Die Vergabe der Diagnose MND nach den Slick-Kriterien von 1999 wird in Abhängigkeit der Sicherheit der willentlichen Übertreibung oder Vortäuschung vergeben. Unterschieden wird dabei sicher, wahrscheinlich und möglich. Gemeinsam haben aber alle drei Diagnosen, dass Kriterium A (der Nachweis für einen externen Anreiz) gegeben sein muss. Kriterium D (Ausschluss anderer Ursachen) ist zwingend für die Vergabe einer *sicheren* oder *wahrscheinlichen* MND. Je nach Art und Umfang der Indikatoren B (Hinweise auf Antwortverzerrungen aus der neuropsychologischen Testdiagnostik) und C (Hinweise auf Antwortverzerrungen aus den gelieferten Angaben des Probanden und der Selbstbeurteilung) werden die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitsgrade definiert, die in Tabelle 3 aufgeführt sind.

⁸ Simulation und Aggravation werden im Englischen wiederum unter dem Begriff *malingered* zusammengefasst.

Tabelle 3

Diagnostische Sicherheit nach den Slick-Kriterien (1999; adaptiert nach Merten 2014).

Sicherheitsgrad der Feststellung vorgetäuschter kognitiver Störungen	Erfordernis
Sicher	Kriterien A, B1 und D müssen erfüllt sein
Wahrscheinlich	Kriterien A und D sowie mindestens zwei der Kriterien B2-B6 oder eines der Kriterien B2-B6 und mindestens eines der Kriterien C1-C5 müssen erfüllt sein
Möglich	a) Kriterium A und D sowie mindestens eines der Kriterien C1-C5 müssen erfüllt sein oder b) Die Kriterien für eine sichere oder wahrscheinliche Vortäuschung sind erfüllt, aber Kriterium D ist nicht erfüllt

Larrabee, Greiffenstein, Greve und Bianchini (2007) diskutierten die Kriterien von Slick ausführlich und schlugen einige Modifikationen vor. Sie fordern zum Beispiel, dass bei auffälligen Ergebnissen in mehreren LVT (Kriterium B2) kein zusätzliches Kriterium erfüllt sein muss, um eine wahrscheinliche MND festzustellen. Weiter fordern sie, dass die C-Kriterien, die auf der Beschwerdenschilderung der Exploranden beruhen, den B-Kriterien gleichgestellt sein sollten. Für die MND-Diagnosestellung bei schmerzbezogenen Funktionsstörungen wurden bereits von Bianchini et al. (2005) Anpassungen der Slick-Kriterien vorgenommen, da durch den Exploranden geltend gemachte kognitive Beschwerden gerade im Bereich von Schmerzstörungen häufig auftreten (Bianchini et al., 2005). Weitere Kritik an den Slick-Kriterien folgte von Rogers, Bender und Johnson (2011), die darauf aufmerksam machten, dass die Slick-Kriterien die Schwelle für die Annahme einer zumindest möglichen Vortäuschung niedrig ansetzen, insbesondere im Vergleich mit der hohen Schwelle, die für den Ausschluss einer alternativen Erklärung von Inkonsistenzen und Antwortverzerrungen (Kriterium D) vorgegeben wird. Basierend auf diesem Diskurs präsentierten Slick und Sherman (2013) eine überarbeitete Version der Kriterien von 1999.

Tabelle 4

Vorgeschlagene diagnostische Kriterien für die Vortäuschung kognitiver Störungen (MND): Eine Revision und Erweiterung der Slick-Kriterien von 1999 (Adaptiert nach Slick und Sherman, 2013).

Primäre MND
<i>Sicher</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorhandensein eines substantiellen äusseren Anreizes für eine Simulation oder Aggravation (Kriterium 1) 2. Ein oder mehrere starke Kriterien (Kriterien 2.0 – 2.3) für die Simulation oder Aggravation neuropsychologischer Probleme oder Defizite müssen erfüllt sein 3. Verhaltensweisen, die die Kriterien betreffen, dürfen nicht vollständig durch psychiatrische, neurologische oder Entwicklungsfaktoren erklärbar sein
<i>Wahrscheinlich</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorhandensein eines substantiellen äusseren Anreizes für eine Simulation oder Aggravation (medizinisch-rechtlicher sekundärer Gewinn) 2. Drei oder mehr Kriterien (Kriterien 3.1-3.7) möglicher Simulation oder Aggravation neuropsychologischer Probleme oder Defizite müssen erfüllt sein
Sekundäre MND (sicher und wahrscheinlich)
Kriterien für eine sichere oder wahrscheinliche MND sind gegeben, aber es gibt gute Gründe anzunehmen, dass der Explorand während der Untersuchung nicht über die nötige kognitive Kapazität verfügte, um die ethischen, moralischen oder legalen Auswirkungen seines Verhaltens abzuschätzen und/oder er war wegen Unmündigkeit oder authentischer Entwicklungs-, psychiatrischer oder neurologischer Störungen oder Verletzungen von mindestens mittlerer Schwere nicht in der Lage, sein Verhalten zu kontrollieren. Sekundäre Simulation/Aggravation kann nicht bei Personen mit leichten Beschwerden (wie einem leichten Schädelhirntrauma) diagnostiziert werden.
MND durch Vertretung
Kriterien für eine sichere oder wahrscheinliche MND sind gegeben, aber es gibt gute Gründe anzunehmen, dass ein schutzbedürftiger Explorand primär unter dem Einfluss, der Anleitung oder Kontrolle einer anderen Person handelte. Exploranden können anfällig für Einflüsse anderer sein aufgrund von Unmündigkeit, Entwicklungsstörung des Nervensystems, kognitiven Behinderungen und psychiatrischen Erkrankungen oder wenn sie das Gefühl haben, einer substantiellen Nötigung wie Drohungen oder körperlichen Angriffen nicht entkommen zu können und sich daher entsprechend den Instruktionen der drohenden Person verhalten.
Spezifische Kriterien
<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorhandensein eines substantiellen äusseren Anreizes für eine Simulation oder Aggravation (medizinisch-rechtlicher sekundärer Gewinn) 2. Sehr starke Hinweise für Simulation oder Aggravation neurokognitiver Störungen <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Unter-Zufalls-Antwort ($\leq .05$) in einem oder mehreren Zwangswahlverfahren 2.2. Hohe Wahrscheinlichkeit ($\geq .95$), dass die Leistung in einem oder mehreren gut validierten psychometrischen Indizes substantiell unter dem tatsächlichen Leistungsniveau ist 2.3. Selbstberichtete Symptome sind ohne Zweifel nicht kompatibel oder widersprüchlich mit dem direkt beobachteten Verhalten und/oder den Testleistungen

- | |
|--|
| <p>3. Mögliche Hinweise für Simulation oder Aggravation neurokognitiver Störungen</p> <p>3.1. Daten aus einem oder mehreren gut validierten psychometrischen Verfahren sind insgesamt eher konsistent mit selbstlimitierendem Verhalten als mit authentischem Leistungsverhalten, sie erfüllen aber nicht die Kriterien 2a oder 2b</p> <p>3.2. Ausgeprägte und unglaubliche Diskrepanzen zwischen Testleistungen und dem aufgrund der Entwicklung und der medizinischen Akten erwarteten Funktionsniveau</p> <p>3.3. Ausgeprägte und unglaubliche Unterschiede zwischen den Testleistungen und direkt beobachtetem Verhalten und Fähigkeiten</p> <p>3.4. Ausgeprägte und unglaubliche Unterschiede zwischen den Testleistungen und zuverlässigen Berichten bezüglich Verhalten und Fähigkeiten</p> <p>3.5. Ausgeprägte und unglaubliche Unterschiede zwischen Selbstberichten und der dokumentierten Geschichte, die konsistent sind mit einer Übertreibung des Leistungsniveaus und Fähigkeiten vor der Verletzung sowie mit einer Verharmlosung vorbestehender Verletzungen, neuropsychologischen Beschwerden und/oder der Übertreibung des Schweregrades neuer Verletzungen</p> <p>3.6. Ausgeprägte und unglaubliche Unterschiede zwischen Selbstberichten und dem Funktionslevel, das aufgrund der Entwicklung und der Krankengeschichte erwartet wird</p> <p>3.7. Ausgeprägte und unglaubliche Unterschiede zwischen Selbstberichten und zuverlässigen Informationen von Dritten.</p> |
|--|

Bemerkung: MND = Vortäuschung kognitiver Störung (engl. *malingered neurocognitive dysfunction*)

Eine grundlegende Veränderung der überarbeiteten Slick-Kriterien von 2013 besteht darin, dass das Kriterium D neu nicht mehr aufgeführt ist. Bis anhin war es nicht möglich, einem Patienten die Diagnose einer MND zu vergeben, wenn sein Verhalten vollständig durch psychiatrische, neurologische oder Entwicklungsstörungen erklärt werden konnte. Demnach konnte eine Person, obwohl sie mit der Absicht, sich einen erheblichen materiellen Vorteil zu verschaffen (z.B. Rente der Invalidenversicherung; IV-Rente), vorsätzlich und bewusst neuropsychologische Funktionsstörungen übertrieb oder vortäuschte, keine Diagnose einer MND vergeben werden, wenn sie an einer authentischen psychiatrischen, neurologischen oder Entwicklungsstörung litt (Slick & Sherman, 2013). Diese Praxis führte jedoch zu heiklen Fragen, da unklar war, wann in solchen Fällen ein Verhalten als Vortäuschung eingestuft werden soll und kann. Des Weiteren führte sie insofern zu Verwirrungen, als sie davon ausging, dass eine Person mit einer psychiatrischen oder neurologischen Erkrankung oder einer Entwicklungsstörung nicht in der Lage sei, zu simulieren oder Symptome zu verdeutlichen. Eine mögliche Lösung für dieses Problem ist, das Kriterium D auszuschliessen. Die Ausnahme bilden dabei Personen, die zwar die Kriterien einer sicheren oder wahrscheinlichen MND erfüllen, das simulierende oder aggravierende Verhalten jedoch vollständig durch legitimierende kognitive oder

psychiatrische Dysfunktionen erklärt werden kann. Dies, da die entsprechenden Dysfunktionen die Selbstkontrolle und/oder die Fähigkeit, das moralische oder ethische Verständnis oder die sozialen und rechtlichen Folgen sowie Auswirkungen des vortäuschenden Verhaltens einzuschätzen, beeinträchtigen.

In solchen Fällen sollte die Diagnose einer sekundären vorgetäuschten kognitiven Störung (sekundäre MND) vergeben werden (Slick & Sherman, 2012). Eine Person, die zum Beispiel Symptome einer Hirnverletzung mit dem Ziel, eine erhebliche finanzielle Entschädigung zu erhalten, übertrieben darstellt, dies jedoch als Folge einer Beeinträchtigung des Urteilsvermögens und der Impulskontrolle infolge einer schweren Frontalhirnverletzung tut, würde die Diagnose einer *sekundären MND infolge Hirnverletzung* erhalten. Wichtig ist jedoch anzumerken, dass eine sekundäre MND nur bei schweren psychiatrischen (z.B. Schizophrenie), neurologischen (z.B. schweres Schädel-Hirn-Trauma) oder schweren Entwicklungsstörungen (geistige Behinderung) vergeben werden kann. Leichte Störungen oder Erkrankungen wie zum Beispiel ein leichtes Schädel-Hirn-Trauma berechtigen nicht zur Diagnose einer sekundären MND (Slick & Sherman, 2013).

Um zu überprüfen, ob die Diagnose einer MND zu vergeben ist, und die Validität der Testleistungen sicherzustellen, gibt es verschiedene Verfahren und Ansätze, die angewendet werden.

1.6 Verschiedene Verfahren und Ansätze zur Leistungsvalidierung

In den folgenden Unterkapiteln werden die im Rahmen der Slick-Kriterien sowie auch in der internationalen Literatur geforderte Durchführung von LVT und BVT sowie weitere Prozedere zur Beurteilung der Validierung von Testleistungen, besprochen. Die Validität von Testleistungen kann auf unterschiedliche Art und Weise überprüft werden. Diese Verfahren lassen sich in die folgenden sechs Gruppen unterteilen: Alternativwahlverfahren und eingebettete Indikatoren, Testdeckeneffekte, Leistungskurven, Fehlergrößen, inkonsistente oder untypische Leistungsprofile sowie die Präsentation psychischer Folgen. Diese sechs Kategorien werden nachfolgend in Anlehnung an Merten (2014) beschrieben.

1.6.1 Alternativwahlverfahren und eingebettete Indikatoren

Von allen Ansätzen, die der Entdeckung und Erfassung negativer Antwortverzerrung dienen, stellen die Alternativwahlverfahren (engl. *forced choice*) die grösste Gruppe dar. Ihnen kommt zudem eine besondere Rolle zu, da sie am besten entwickelt und validiert sind (Merten et al., 2009). Bei den Alternativwahlverfahren wird zunächst ein Reiz dargeboten

(z.B. ein Bild). Anschliessend muss der Explorand den Reiz in einer Auswahl von zwei angebotenen Optionen wiedererkennen. Die Zeit zwischen dem Reiz und der Wiedererkennung kann je nach Verfahren variieren. Die Verfahren verlangen, dass in jedem Fall eine Antwort gegeben werden muss.

Mit den Alternativwahlverfahren können besonders grobe und bewusste Vortäuschungsversuche und Manipulationen des Antwortverhaltens je nach Antwortmuster mit grosser Sicherheit nachgewiesen werden (Merten, 2014). Denn liegt bei einem solchen Verfahren eine Unter-Zufall-Antwort vor (d.h. eine Antwort unter der Ratewahrscheinlichkeit), kann nach den Slick-Kriterien (Slick & Sherman, 2013; Slick et al., 1999) zusammen mit dem Nachweis eines sekundären Krankheitsgewinns und dem Ausschluss von überzeugenden alternativen Erklärungen mit hoher Sicherheit eine Simulation festgestellt werden.

Nach diesem Schema der Alternativwahlverfahren wurden die ersten standardisierten LVT konstruiert. Sie unterscheiden sich lediglich in methodischen Details (Merten, 2014). Variieren kann das Stimulusmaterial (Bild-, Zahlen- oder sprachliches Material), die Anzahl der Durchgänge und auf welche Art versucht wird, die tatsächliche Leichtigkeit der Aufgabe zu verdecken (Merten, 2014). In einigen Verfahren wie im *Word Memory Test* (Green, 2003) wird zusätzlich zur Leistungsvalidierung eine Beurteilung der Gedächtnisleistung über mehrere Abrufbedingungen durchgeführt. Die Profildarstellung der Abrufbedingungen ermöglicht dadurch zusätzlich eine Plausibilitätsprüfung der dargestellten Beschwerden.

Da Alternativwahlverfahren ausserordentlich einfach sind, können Patienten mit schweren authentischen Störungen diese Tests perfekt oder nahezu perfekt bearbeiten (Merten, 2014). Liegt ein Antwortverhalten vor, das unterhalb der Schwelle der Ratewahrscheinlichkeit liegt, stellt dieses deshalb eine Extremvariante der negativen Antwortverzerrung dar. Die Aufgabenstellung der Zwangswahl erlaubt, dass bei einer Ratewahrscheinlichkeit von 50% das Antwortverhalten unter Berücksichtigung der Binomialverteilung interpretiert werden kann. Dabei sind folgende Antwortverhalten von Interesse:

- a) Liegt die Anzahl korrekter Antworten im statistischen Zufallsbereich, ist dieses Verhalten vereinbar mit einem Totalausfall der untersuchten Funktion. Kann ein Nachweis erbracht werden, dass die Zielfunktion nicht komplett ausgefallen ist, liegt ein starker Hinweis für eine negative Antwortverzerrung vor.
- b) Liegt die Anzahl korrekter Antworten signifikant unterhalb des Zufallsbereichs, also tiefer als die Schwelle für reines Raten, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit kein Ausfall

der Zielfunktion vor, sondern eine Antwortmanipulation (in Kenntnis der korrekten Antwort werden falsche Antworten gegeben).

- c) Liegt die Anzahl korrekter Antworten signifikant oberhalb des Zufallsbereichs, ist es ebenfalls wahrscheinlich, dass die Zielfunktion nicht komplett ausgefallen ist und der Explorand in der Lage ist, die Aufgabe zu bearbeiten.

Zusammenfassend stellen Antwortmuster mit korrekten Antworten unterhalb der Zufallsgrenze eine extreme Variante negativer Antwortverzerrung dar. Antwortmuster im Zufallsbereich verweisen unter der Bedingung, dass die Zielfunktion nicht weitgehend oder komplett ausgefallen ist, auf eine grobe Verzerrungstendenz hin. Sind Antwortverzerrungen weniger ausgeprägt, zeigt sich kein solch abwegiges Antwortmuster und das Antwortverhalten fällt weder in den Unter-Zufall-Bereich noch in den Zufallsbereich (Merten, 2014). Da die Alternativwahlverfahren ausserordentlich leicht zu lösen sind, sodass auch bei authentischen kognitiven Störungen eine Mindestanzahl korrekter Antworten erwartet werden kann, wurden anhand dieser Mindestanzahl Grenzwerte berechnet, die nicht unterschritten werden sollten. Liegt die Anzahl korrekter Antworten unter diesem Grenzwert, dient dies ebenfalls als Hinweis für eine mögliche negative Antwortverzerrung (J. Kool et al., 2008).

Ein Nachteil der Alternativwahlverfahren besteht darin, dass sie leicht zu durchschauen sind oder der Explorand nach vorgängiger Information das Testprinzip bspw. im Internet oder durch Coaching leicht in Erfahrung bringen kann. Dies senkt die Sensitivität dieser Testverfahren zur Erkennung von negativen Antwortverzerrungen (Merten, 2014). Um dem entgegenzuwirken, wurden einige Verfahren so modifiziert, dass z.B. nicht nur ein Stimulus aus zwei, sondern beispielsweise drei aus fünf Stimuli wiedererkannt werden müssen (z.B. der Amsterdamer Kurzzeitgedächtnistest, AKGT; Schmand & Lindeboom, 2005). In Appendix A, der keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat, sind die wichtigsten Informationen zu den verfügbaren LVT, die auf dem Prinzip des Alternativwahltests oder einer darauf basierenden Modifikation beruhen, zusammengefasst.

Eine attraktive Alternative zu den sogenannten alleinstehenden Alternativwahlverfahren stellen eingebettete Leistungsvalidierungsindikatoren dar. Diese Kennwerte werden aus neuropsychologischen Standardtests abgeleitet (bspw. aus dem Verhältnis der Tempoleistungen in zwei Untertests) und können daher in den meisten Fällen ohne zusätzlichen Untersuchungsaufwand erhoben werden. Bei einigen Aufgaben hingegen müssen zusätzliche Untertests durchgeführt werden, um den Indikator zu erhalten. Die Indikatoren sind in aller Regel erst nach der Veröffentlichung der Testverfahren entwickelt

worden, sodass ihre Anwendung und Interpretation nicht in der Originalliteratur beschrieben sind (Merten, 2014). Eine deutschsprachige Übersicht bieten Schellig, Drechsler, Heinemann und Sturm (2009). Obwohl die eingebetteten Leistungsvalidierungsindikatoren die Klassifikationsgüte der alleinstehenden LVT nicht erreichen, kommt ihnen eine immer grössere Rolle zu (Merten, 2014). Die Vorteile der eingebetteten Leistungsvalidierungsindikatoren umfassen nach Greve und Bianchini (2009) folgende vier Hauptpunkte: (1) Eingebettete Indikatoren erlauben in den eingesetzten Verfahren zur Leistungsvalidierung ohne zusätzlichen Zeitaufwand eine Verbesserung der Sensitivität zur Erkennung negativer Antwortverzerrungen. (2) Sie liefern direkte Informationen über die Validität der im spezifischen Test gezeigten Leistung, im Unterschied zu alleinstehenden LVT, die nur indirekte Rückschlüsse auf die Gültigkeit bzw. Ungültigkeit des Testprofils erlauben. (3) Es ist davon auszugehen, dass eingebettete Indikatoren weniger anfällig sind für ein Coaching des Exploranden z.B. durch einen Anwalt oder auch für eigenständige Vorbereitungen und (4) sie können zur Validierung der Testresultate herangezogen werden, auch wenn alleinstehende Verfahren nicht eingesetzt werden oder wurden (bspw. retrospektive Datenanalyse). Da eingebettete Leistungsvalidierungsindikatoren in Messverfahren integriert sind, die zur Beurteilung der tatsächlichen Funktionen verwendet werden, ist allerdings das Risiko von falsch-positiven Ergebnissen, also dass jemand fälschlicherweise der Simulation oder Aggravation verdächtigt wird, höher.

Für eine möglichst vollständige Validierung der gezeigten Leistung in der neuropsychologischen Begutachtung empfiehlt Merten (2014) deshalb eine Kombination von alleinstehenden LVT und eingebetteten Leistungsvalidierungsindikatoren.

1.6.2 Testdeckeneffekt

Unter dem Testdeckeneffekt werden Tests zusammengefasst, die sehr einfach sind. Sie umfassen objektiv wenig anspruchsvolle Aufgaben, zum Beispiel Fragen wie „*Was ist grösser: Eine Maus oder eine Kuh?*“. Bei einigen Aufgaben wird versucht, die tatsächliche Leichtigkeit durch die Instruktion zu überdecken. Da diese Aufgaben so einfach sind, wird erwartet, dass Exploranden, die ihre Beschwerden übertreiben wollen, dazu eingeladen sind, falsche Antworten zu geben (Merten, 2014). Da solch gravierendes simulierendes Verhalten jedoch nur selten auftritt und diese Verfahren sehr schnell durchschaut werden, wird diese Form von Leistungsvalidierung auch nur selten eingesetzt.

1.6.3 Leistungskurve

Im Gegensatz zum Testdeckeneffekt werden bei der Analyse der Leistungskurve nicht einzelne Tests oder Aufgaben einbezogen, sondern die Leistungskurve wird über mehrere Aufgaben innerhalb eines Tests oder über mehrere Tests hinweg beurteilt. Die Leistungskurve soll die tatsächliche Schwierigkeit der gestellten Aufgabe oder Anforderung widerspiegeln. Wird eine leichte Aufgabe nicht gelöst, eine schwierige hingegen schon, scheint das Lösungsverhalten nicht plausibel. Bei der Leistungskurve ist jedoch zu beachten, dass es zu krankheitsspezifischen Veränderungen (z.B. bei Aphasie, Neglect oder formaler Denkstörung) des leicht-schwierig Verhältnisses kommen kann (Merten, 2014).

1.6.4 Fehlergrösse

Die Fehlergrösse bezieht sich auf die Knapp-Daneben-Antworten. Ein durchgehendes Abweichen der Antwort zum Beispiel um den Betrag 1 bei Rechenaufgaben oder Orientierungsfragen weist direkt darauf hin, dass der Explorand die korrekte Lösung kennt und bewusst eine falsche nennt. Ein solches Antwortverhalten kann zwar richtungsweisend sein, jedoch ist die Sensitivität solcher Verhaltensmuster für die Feststellung negativer Antwortverzerrung gering (Merten, 2014). Bei Knapp-Daneben-Antworten ist es zudem wichtig, das Ganser-Syndrom⁹ (ICD-10; F44.80, World Health Organization, 2004) abzugrenzen, da bei diesen Patienten ein Knapp-Daneben-Antwortverhalten ein typisches Symptom darstellt (G. Wirtz et al., 2008).

1.6.5 Inkonsistente oder untypische Leistungsprofile

Wie bereits in Kapitel 1.5 beschrieben, müssen die neuropsychologischen Testprofile auf Konsistenz innerhalb der oder zwischen den neuropsychologischen Funktionsbereichen geprüft werden (Larrabee, 2005). Diese Überprüfung zielt auf die Entdeckung untypischer oder inkonsistenter Veränderungen und kann zwischen allen Testergebnissen anhand einer Auswahl an Tests oder über mehrere Untersuchungszeitpunkte hinweg durchgeführt werden. Insbesondere beim Vergleich über mehrere Untersuchungszeitpunkte hinweg ergeben sich jedoch Schwierigkeiten, da die Resultate nur eingeschränkt vergleichbar sind, wenn nicht standardisierte Testbatterien verwendet wurden (Merten, 2014).

⁹ Das Ganser-Syndrom ist ein seltenes psychiatrisches Störungsbild und wird zu den dissoziativen Störungen gezählt.

1.6.6 Präsentation psychischer Folgen

Psychische Störungen wie Angst oder Depression werden häufig mit kognitiven Störungen sowie Erschöpfungsneigung, Tinnitus, Geräuschempfindlichkeit und Kopfschmerzen assoziiert. Diese Beschwerden können nicht oder nur schwer objektiviert werden. Die Plausibilität solcher Beschwerden lässt sich mit Hilfe von Fragebögen (BVT) beurteilen. Für den deutschen Sprachraum ist die Entwicklung jedoch noch nicht weit fortgeschritten und viele Verfahren sind nur in englischer Sprache verfügbar (Merten, 2014).

1.7 Limitationen

Die Leistungsvalidierung hat bereits zu einer grossen Verbesserung der Sicherstellung und Beurteilung der Validität erbrachter Testleistungen in neuropsychologischen Untersuchungen geführt. Eine kritische Haltung gegenüber dem Einsatz von LVT und auch BVT ist dennoch angebracht, da sie auch nach über drei Jahrzehnten intensiver Forschung häufig mit erheblichen methodischen und ethischen Problemen behaftet sind.

Ein sicherer Nachweis einer MND liegt nur dann vor, wenn der betreffende Explorand die Simulation eingesteht oder in einem Alternativwahlverfahren ein auffälliges Resultat gezeigt wird, das deutlich unter dem Zufallsbereich liegt. Ein Eingeständnis eines Exploranden ist jedoch – insbesondere bei erfolgreicher Simulation – schwierig zu erreichen. Darüber hinaus zeigt die Forschung zu Geständnissen im Rahmen von Strafverfolgungen, dass auch diese keineswegs der Wahrheit entsprechen müssen (vgl. z.B. Kassir, Appleby, & Perillo, 2010). Das zweite sichere Kriterium – ein Unterzufall-Antwortverhalten in einem Alternativwahlverfahren – kommt äusserst selten vor (Merten, 2014). Dementsprechend ist die nahezu sichere Bestätigung einer negativen Antwortverzerrung fast unmöglich. Prävalenzschätzungen nennen viel höhere Zahlen, da die Schätzungen auf der Basis der Auftretenshäufigkeit auffälliger Ergebnisse in LVT vorgenommen werden und nicht auf der Auftretenshäufigkeit einer sicheren MND (Merten, 2014). Von auffälligen Ergebnissen in LVT allein darf aber keinesfalls auf Simulation rückgeschlossen werden, obwohl genau dies häufig geschieht. Darüber hinaus sind auffällige Ergebnisse in LVT nicht damit gleichzusetzen, dass Exploranden kontinuierlich über die gesamte Untersuchung hinweg negative Antwortverzerrungen zeigen (Boone, 2009, 2013; Heilbronner et al., 2009). Zudem kommt gerade im deutschsprachigen Raum eine zusätzliche Fehlerquelle hinzu, da oftmals übersehen wird, dass der Begriff *malinger* beide Konzepte der Aggravation und Simulation umfasst, und Aggravation deshalb fälschlicherweise mit Simulation gleichgesetzt wird (Merten, 2014).

Die Aufrichtigkeit der Beschwerdendarstellung und des Leistungsverhaltens während der gesamten Untersuchungsdauer oder zu einzelnen Untersuchungszeitpunkten unterliegt einer zeitlichen Dynamik. Aus einem hinreichend leistungsmotivierten Verhalten kann innert Minuten ein unzureichend leistungsmotiviertes Verhalten werden (Schmand & Merten, 2009). Ungültige Testprofile können durch das Zusammenwirken vieler Faktoren entstehen, die sich stetig verändern können. Beispiele sind Motivation, persönliche Ziele oder die Einstellung gegenüber der Untersuchung. Dementsprechend können auch zu einem spezifischen Zeitpunkt während der Untersuchung nachgewiesene negative Antwortverzerrungen nicht beweisend einer durchgehenden Aggravation oder Simulation zugeschrieben werden, sondern müssen immer im Gesamtkontext und unter Berücksichtigung des nur punktuell möglichen Einsatzes der LVT interpretiert werden (Merten, 2014). Zusätzlich ist zu beachten, dass ungenügende Leistungen in LVT nicht zwingend mit selbstlimitierendem Verhalten gleichzusetzen sind, sondern auch Ausdruck einer Krankheit wie beispielsweise einer somatoformen oder artifiziellen Störung sein können (Widder, 2011).

Aus ethischer Perspektive ist es zudem wichtig, dass für die Entwicklung von LVT eine minimale falsch-positiv Rate (hohe Spezifität) zu fordern ist (J. Kool et al., 2008). Die Schwelle für ein auffälliges Testresultat ist bei der Testentwicklung also so zu legen, dass eine Person mit validen Minderleistungen nicht fälschlicherweise der negativen Antwortverzerrung bezichtigt werden kann. Eine hohe Spezifität kann aber wiederum die Wahrscheinlichkeit reduzieren, eine Person mit selbstlimitierendem Leistungsverhalten zu entdecken (Sensitivität). In Fachkreisen ist man sich deshalb einig, dass für die Erreichung einer möglichst hohen Sensitivität und Spezifität der Einsatz eines einzelnen LVT zur Beurteilung der authentischen Leistung nicht ausreichen kann, sondern eine Kombination mehrerer LVT mit jeweils hoher Spezifität zu bevorzugen ist (Bianchini et al., 2001; Boone et al., 2007; S. S. Bush et al., 2005; Heilbronner et al., 2009; Henry et al., 2009; Larrabee et al., 2007; Merten & Dettenborn, 2009; Mittenberg et al., 2002). Die Durchführung multipler LVT ist also anzustreben, da auffällige Ergebnisse in einzelnen LVT häufig vorkommen. Sie birgt jedoch auch Gefahren (Berthelson, Mulchan, Odland, Miller & Mittenberg, 2013; Dean et al., 2008; Merten, 2014; Meyers & Volbrecht, 2003). Mit einer steigenden Anzahl eingesetzter LVT steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein falsch-positives Ergebnis in einem dieser Verfahren durch Zufall zustande kommt (Berthelson et al., 2013; Larrabee, 2014; Odland et al., 2015). Werden mehrere LVT angewendet, muss deshalb – um diese Gefahr zu entschärfen – bei der Interpretation unbedingt die Anzahl der angewendeten LVT und auch die Anzahl auffälliger und unauffälliger Resultate berücksichtigt werden (Berthelson et al., 2013).

Weiter ist es problematisch, dass bei vielen LVT die Aufgaben anspruchsvoll scheinen oder als anspruchsvoll dargestellt werden, obwohl sie so konzipiert sind, dass sie grundsätzlich auch für Personen mit massiven kognitiven Beeinträchtigungen mühelos zu bewältigen sind. Aus ethischer Sicht sind diese Aspekte der bewussten Täuschung eines Exploranden durch Instruktionen, die die diagnostischen Ziele des Testverfahrens vertuschen und die Schwierigkeit der Aufgabe falsch darstellen, bedenklich, da so der Explorand mittels Täuschung des Betrugs überführt werden soll. Wird ein LVT eingesetzt, bei dem der Explorand getäuscht wird, „wird das Recht des Probanden auf Selbstbestimmung einem Gut geopfert, das der Untersucher als das grössere bestimmt hat“ (S. Bush, 2009, S. 89). Die Täuschung wäre demnach nur verantwortbar, wenn sie durch einen bedeutsamen Nutzen gerechtfertigt wäre und keine Alternative, dank der auf eine Täuschung verzichtet werden könnte, zur Verfügung stände. Leider stehen bis heute keine Alternativen zur Verfügung. (S. S. Bush, 2009).

Weitere Schwierigkeiten sind auf Testebene auszumachen. Gerade die weitaus am häufigsten eingesetzten Alternativwahlverfahren gelten als sehr leicht durchschaubar und Exploranden können gut auf diese Verfahren vorbereitet werden (Essig, Mittenberg, Petersen, Strauman & Cooper, 2001; Merten, 2014; Widder, 2011). Durch die heute weit verbreiteten und durch Suchmaschinen stark vereinfachten internetbasierten Recherchemöglichkeiten ist es zudem ein Leichtes, umfangreiche Informationen wie Testbeschreibungen, Testmaterialien oder Protokolle ganzer Testbatterien inklusive LVT ausfindig zu machen und sich dementsprechend vorzubereiten (Bauer & McCaffrey, 2006; Ruiz, Drake, Glass, Marcotte & van Gorp, 2002), was zu einer Herabsetzung von Sensitivität und Spezifität der Verfahren führt (Merten, 2014).

1.8 Zusammenfassung

Im Rahmen neuropsychologischer Untersuchungen werden kognitive und psychische Funktionen erfasst, um Störungen in diesen Bereichen zu erkennen und hinsichtlich des Schweregrads zu bewerten (Frei et al., 2016) sowie allfällige Funktionsbeeinträchtigungen zu objektivieren und Hirnfunktionen zuzuschreiben. Kommt es in den neuropsychologischen Testverfahren zu Minderleistungen, wäre es ein Fehler, sich ausschliesslich auf die Beschwerdenschilderung und -präsentation des Exploranden zu stützen. Die Möglichkeit direkter Rückschlüsse von den Testergebnissen auf die tatsächlich möglichen Leistungen ist nur unter Berücksichtigung des Leistungsverhaltens des Exploranden gegeben. Dass die Berücksichtigung des Leistungsverhaltens wichtig ist, zeigt auch die Tatsache, dass

Testleistungen stärker durch Leistungsverhalten beeinflusst werden als durch traumatische Hirnverletzungen (Green et al., 2001). Merten et al. beschreiben das wie folgt:

„Eine neuropsychologische Diagnostik ist für viele Fragestellungen die Methode der Wahl, wenn es um die Erfassung und Quantifizierung von kognitiven Störungen geht. Dennoch ist mit dem Erhalt testpsychologischer Ergebnisse noch nicht automatisch eine „Objektivierung“ von Leistungsstörungen gelungen. Neuropsychologische Tests sind in besonderer Weise von der Kooperativität des Untersuchten abhängig.“ (Merten et al., 2009, S. 26)

Eine Interpretation der Testresultate macht nur dann Sinn, wenn davon ausgegangen werden kann, dass der Explorand die Aufgabe aktiv bearbeitet hat. Wenn also basierend auf den erfassten Funktionseinschränkungen gültige Aussagen gemacht werden sollen, muss selbstlimitierendes Leistungsverhalten in der neuropsychologischen Diagnostik erkannt werden können (Merten et al., 2009). Um das Leistungsverhalten des Exploranden zu beurteilen, werden u.a. LVT eingesetzt. Der Einsatz solcher Verfahren hat bereits zu einer grossen Verbesserung der Sicherstellung und Beurteilung der Authentizität und Validität erbrachter Testleistungen geführt.

Betrachtet man die hohe Zahl ungültiger Testprofile aufgrund negativer Antwortverzerrungen, die im gutachtlichen Kontext auf ca. 40% geschätzt werden (Stevens et al., 2008), sind die Beschwerdenuvalidierung und der Einsatz von LVT unverzichtbar (Merten et al., 2009). Bei Verdacht auf simulierendes oder aggravierendes Verhalten basierend auf den Slick-Kriterien (bspw. auffälligen LVT-Ergebnissen, Inkonsistenzen etc.) dürfen demnach die ungültigen Testergebnisse nicht interpretiert werden. Es ist aber gleichermassen falsch zu denken, dass der Explorand während der gesamten Untersuchung die bestmögliche Leistung gezeigt hat, nur weil die LVT-Ergebnisse unauffällig waren (Iverson, 2006). Auch Simulation und Aggravation stellen ein Kontinuum dar. Es handelt sich also nicht um ein Alles-oder-Nichts-Phänomen (Miller, 2001).

Abschliessend bleibt anzumerken, dass die berichteten Prävalenzschätzungen zu negativen Antwortverzerrungen auf Studien basieren, die sich auf sozialmedizinische Kontexte beziehen. Dies ist insofern sinnvoll, als im gutachtlichen Kontext mit einer erhöhten Häufigkeit von selbstlimitierendem Leistungsverhalten zu rechnen ist, da sekundäre

Krankheitsgewinne wie bspw. Renten im Vordergrund der Untersuchung stehen (Johnson-Greene, Brooks & Ference, 2013). Nicht valide Untersuchungsergebnisse können also mit relativ hoher Häufigkeit auftreten, sodass notwendigerweise eine zusätzliche Leistungsvalidierung erfolgen muss. Trotz der Notwendigkeit, selbstlimitierendes Leistungsverhalten zu entdecken, sollte die Ursache der Antwortverzerrung jedoch stets hinterfragt werden. Nicht valide Untersuchungsergebnisse basieren nicht zwingend auf Simulation oder Aggravation. Um die Sicherstellung und Beurteilung der Authentizität der kognitiven Leistungsfähigkeit und die Validität der Testleistungen zu verbessern, wird explizit gefordert, gut validierte Verfahren zu entwickeln (Sollman & Berry, 2011), die es ermöglichen, einerseits die Gefahr von falsch-positiven Resultaten zu minimieren und andererseits die aus ethischer Sicht bedenkliche Vorgehensweise, Betrug durch Täuschung aufzudecken, zu umgehen.

Um eine fundierte, valide Aussage zur Leistungsmotivation und Aufrichtigkeit eines Exploranden machen zu können, ist eine multimodale Herangehensweise notwendig, bei der z.B. LVT sowie Konsistenz- und Plausibilitätsprüfungen durchgeführt werden (S. S. Bush, 2009; S. S. Bush et al., 2005). Diese multimodale Herangehensweise wiederum erfordert die Entwicklung weiterer gut validierter Verfahren.

2 Mentale Anstrengung

Da das Leistungsverhalten einen grossen Einfluss auf die Validität neuropsychologischer Testleistungen hat, muss sichergestellt werden, dass der Explorand seine bestmögliche Leistung zeigt. Umgangssprachlich wird häufig wenig differenziert davon gesprochen, ob und wie sehr sich der Explorand angestrengt hat. In der neuropsychologischen Forschung, in neuropsychologischen Untersuchungen und im Rahmen der Beschwerden- und Leistungsvalidierung wird zur Beschreibung von Leistungsverhalten dazu der Begriff „mentale Anstrengung“ (engl. *mental effort*) verwendet. Der Begriff ist jedoch unscharf definiert und wird nicht einheitlich verwendet. In den letzten Jahren fand bezüglich mentaler Anstrengung ein Paradigmenwechsel in der neuropsychologischen Forschung statt. Im Rahmen dieser Weiterentwicklung hat sich der Begriff der mentalen Anstrengung stark verändert und wurde schliesslich neu definiert.

Im folgenden Kapitel werden die dominierenden Theorien zu mentaler Anstrengung kurz vorgestellt und der aktuelle Stand der Diskussion wird zusammengefasst. Eine umfassende historische Darstellung des Begriffs mentaler Anstrengung kann bei Manzey (1997) und G. Mulder (1986) gefunden werden. Abschliessend wird der Begriff der mentalen

Anstrengung für die vorliegende Arbeit definiert und von früheren Definitionen abgegrenzt. Dies soll dazu dienen, ein differenziertes Verständnis des Begriffs mentaler Anstrengung zu ermöglichen, damit in einem weiteren Schritt das Leistungsverhalten des Exploranden beurteilt werden kann und so Rückschlüsse auf die Validität eines neuropsychologischen Testprofils gezogen werden können.

Bereits 1912 berichtete Arai, dass es beim Lösen schwieriger, unangenehmer Aufgaben mit der Zeit zu einer Abnahme der Effizienz in der Aufgabenbearbeitung komme. Viele Studien konnten dies nachweisen und zeigten auch, dass es mit zunehmender Aufgaben- oder Untersuchungsdauer zu Leistungseinbussen kommt (Baumeister, Bratslavsky, Muraven & Tice, 1998; Holding, 1983; van der Linden, Frese & Meijman, 2003). Dies zeigte sich besonders bei Aufgaben, zu deren Bearbeitung Handlungsplanung, Handlungskontrolle (engl. *planning and updating*), das Wechseln zwischen Verarbeitungsprozessen (engl. *shifting*) oder das Unterdrücken von nicht zielführenden Reaktionen (engl. *inhibition*) benötigt wird. Diese Funktionen können unter dem Oberbegriff der exekutiven Funktionen zusammengefasst werden (Jurado & Rosselli, 2007). Exekutive Funktionen ermöglichen es dem Menschen, komplexe Handlungen auszuführen, um gesetzte Ziele zu erreichen. Die Bearbeitung von Aufgaben, für deren Bearbeitung exekutive Funktionen benötigt werden, führt zu einer subjektiv aversiven Empfindung (Haley & Fessler, 2005; Scerbo, 2001; Warm, Matthews & Finomore, 2008) und es ist schwierig, solche Aufgaben über einen längeren Zeitraum ohne Leistungseinbussen auszuführen (Ackerman, 2011).

Ältere Erklärungsmodelle zur Entstehung solcher Leistungseinbussen können grob in zwei theoretische Ansätze unterteilt werden. Die eine Richtung beruht auf psychophysiologisch orientierten Arbeiten, die mehrheitlich aktivierungstheoretischen Ansätzen folgen, während bei kognitionspsychologisch orientierten Arbeiten aufmerksamkeitstheoretische Ansätze dominieren (Manzey, 1997). Ende der 1980er/Anfang der 1990er Jahre entwickelten sich neben den aktivierungs- und ressourcentheoretischen Ansätzen zusätzlich motivationale Ansätze. Diese drei Ansätze werden nachfolgend vorgestellt.

2.1 Aktivierungstheoretische Ansätze

Aktivierungstheoretische Ansätze basieren auf psychophysiologischen Grundannahmen. Eine dieser Annahmen besagt, der Aktivität des zentralen Nervensystems liege ein eindimensionales Aktivierungskontinuum zugrunde (Bartenwerfer, 1969; Duffy, 1957, 1962). Dieses Kontinuum beschreibe die Spannweite von einer tiefen Aktivierung des

zentralen Nervensystems während des Tiefschlafs bis hin zu einer hohen Aktivierung während grosser geistiger Betätigung. Die Aktivierung des zentralen Nervensystems lässt sich nicht nur mittels Hirnstrommessung (Elektroenzephalographie) messen, sondern wirkt sich auch auf den Körper aus und kann auch über die Hautleitfähigkeit oder Muskelspannung gemessen werden. Auf dieser Grundannahme basierend entwickelte sich ein eindimensionales Konstrukt der geistigen Anstrengung, welche durch physiologische Indikatoren wie Herzrate (HR), Pupillendurchmesser etc. relativ einfach messbar zu sein schien (Manzey, 1997). Die Annahme war, dass die Aktivität umso grösser ist, je mehr mentale Anstrengung erbracht wird. Solche physiologischen Messungen führten jedoch zu widersprüchlichen Ergebnissen (Pribram & McGuinness, 1975; Robbins & Everitt, 1994). Entgegen den Erwartungen zeigten sich beispielsweise bei verschiedenen Personen während anspruchsvollen Aufgaben unterschiedliche physiologische Reaktionen (Individualspezifität). Andere Ergebnisse wiesen darauf hin, dass physiologische Reaktionen einer einzelnen Person in Abhängigkeit von ihrer Motivation unterschiedlich ausfielen, was sich nicht mit dem Ansatz einer allgemeinen Aktivierung vereinbaren liess (Fahrenberg, 1983). Diese widersprüchlichen Befunde physiologischer Aktivierung (Pribram & McGuinness, 1975; Robbins & Everitt, 1994) führten zu einer Weiterentwicklung des aktivierungstheoretischen Ansatzes (Manzey, 1997). Auf psychologischer Ebene haben insbesondere McGuinness und Pribram (1980; Pribram & McGuinness, 1975) dazu beigetragen, indem sie drei Systeme – Arousal-, Aktivierungs- und Effortsystem – ableiteten, welche die Aktivierung des zentralen Nervensystems auf unterschiedliche Art und Weise beeinflussen. Gemäss ihren Annahmen sind das Arousal- und das Aktivierungssystem hauptsächlich reizgesteuert. Das Effortsystem hingegen übernimmt eine übergeordnete Funktion und ist massgeblich an der Selbstregulation und der willkürlichen Regulation von Anstrengung beteiligt.

In den aktivierungstheoretischen Ansätzen bleibt jedoch unklar, wie es durch die Aufgabenbearbeitung zu einer Veränderung bestimmter physiologischer Messwerte kommt (bspw. Blutdruck, Muskelspannung etc.) und weshalb diese Veränderungen nicht mit den Annahmen konsistent waren (Pribram & McGuinness, 1975; Robbins & Everitt, 1994). Trotz der inkonsistenten Befunde der physiologischen Veränderungen wurde der aktivierungstheoretische Ansatz lange beibehalten, da er eine einfache theoretische Grundlage lieferte, um mentale Anstrengung über körperliche Reaktionen durch Ableitung physiologischer Signale zu erfassen (Ribback, 2003). Dieser Ansatz greift jedoch zu kurz, da aktivierungstheoretische Ansätze nur den Zusammenhang zwischen steigender mentaler Anstrengung, die einer zunehmenden Aktivierung des zentralen Nervensystems entspricht,

und damit einhergehender Veränderung der physiologischen Parameter beschreiben. Es bleibt jedoch unklar, wann und unter welchen Bedingungen es zu Leistungseinbussen kommt.

Parallel zu den aktivierungstheoretischen Ansätzen entwickelten sich ressourcentheoretische Ansätze, die den Zusammenhang zwischen mentaler Anstrengung und Leistungseinbussen zu erklären versuchten.

2.2 Ressourcentheoretische Ansätze

Die Grundannahme ressourcentheoretischer Ansätze ist, dass Leistungseinbussen bei der Bearbeitung von Aufgaben durch eine limitierte Ressource bedingt sind (Kahneman, 1973; Manzey, 1989; Wickens, 1991). Eines der ersten und prominentesten Modelle ist das Kapazitätsmodell von Daniel Kahneman (1973). Kahneman definiert die Ressource zur Bearbeitung einer Aufgabe als Kapazität, Anstrengung oder Aufmerksamkeit. Die Ressource steht für mehrere Aktivitäten zur Verfügung und ist limitiert, wobei die Limitation aber nicht absolut ist, sondern in Abhängigkeit der physiologischen Erregung (Arousals) einer Person variiert, wobei bei höherem Arousal mehr Ressourcen zur Verfügung stehen. Andererseits können höhere Aufgabenanforderungen zu einem Anstieg des Arousalniveaus führen, wodurch sich das Ressourcenlimit erhöht. Der Ressourcenbedarf einer Aufgabe ist wiederum von deren Anforderung abhängig. Je grösser der Bedarf einer einzelnen Aufgabe ist, desto kleiner ist die verbleibende Restressource, die für die Bearbeitung weiterer Aufgaben zur Verfügung steht (Kahneman, 1973; Manzey, 1997).

Kahneman nimmt an, dass alle Aufgaben auf dieselbe Ressource zurückgreifen, wobei der Ressourcenbedarf einer Aufgabe durch Faktoren wie Aufgabenschwierigkeit, Zeitdruck etc. bestimmt wird. Die Bereitstellung der Ressource ist von den individuellen Grundvoraussetzungen und der momentanen Einstellung des Individuums abhängig (Kahneman, 1973). Kahneman vernachlässigt dabei allerdings den Einfluss motivationaler Aspekte, indem diese nur in der Einstellung des Individuums implizit mitenthalten sind. Der Ressourcenbedarf, der gemäss Kapazitätsmodell mit steigender Aufgabenschwierigkeit zunimmt, widerspiegelt sich in einer physiologischen Aktivierung und kann bis zu einer individuellen Grenze gedeckt werden. Übersteigen die Aufgabenanforderungen und somit der Ressourcenbedarf die maximal mögliche Ressourcenbereitstellung, können trotz zunehmender Aufgabenschwierigkeit keine zusätzlichen Ressourcen bereitgestellt werden und es kommt zu Leistungseinbussen bei der Aufgabenbearbeitung. Werden zwei Aufgaben parallel bearbeitet, kann es ebenfalls zu Leistungseinbussen kommen, wenn der

Ressourcenbedarf für beide Aufgaben zusammen die maximale Ressourcenkapazität übersteigt.

Bei weiteren Modellen, die den ressourcentheoretischen Ansätzen zugeordnet werden, handelt es sich fast ausschliesslich um Kapazitätsmodelle, die auf der Forschung zu Interferenzeffekten bei Doppeltätigkeiten beruhen (vgl. Manzey, 1998), also auf der Annahme, dass es bei der gleichzeitigen Bearbeitung von zwei Aufgaben zu Leistungseinbussen kommt. Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich lediglich in Art und Modus der Ressourcenbegrenzung.

Studien zu Doppeltätigkeiten widersprechen dem eindimensionalen Konzept Kahnemans, bei dem alle Informationsverarbeitungsprozesse durch eine einzige Ressourcenquelle begrenzt sind (G. Mulder, 1986). Interferenzeffekte beim parallelen Lösen von Aufgaben verweisen darauf, dass die Interferenzeffekte weniger durch den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben bedingt sind, als vielmehr von der Ähnlichkeit der parallel bearbeiteten Aufgaben abhängen (Navon & Gopher, 1979; Wickens, 1976, 1980). Demnach liessen sich schwierige Aufgaben parallel bearbeiten, ohne dass es zu Leistungseinbussen kommt, wenn sich die Anforderungen der Aufgaben deutlich unterscheiden (Allport, Antonis & Reynolds, 1972). Diese Erkenntnisse führten zu einer Weiterentwicklung der eindimensionalen zu mehrdimensionalen Ressourcentheorien, die auf der Annahme basieren, dass die Informationsverarbeitung über verschiedene funktionelle Systeme läuft und somit unterschiedliche Ressourcenpools zur Verfügung stehen (Navon & Gopher, 1979; Wickens, 1976, 1980, 1991).

Da diese Theorien zwar von einer Ressource, aber mehreren unterschiedlichen Ressourcenpools ausgehen, werden diese als mehrdimensionale Ressourcentheorien bezeichnet. Sie beschreiben im Gegensatz z.B. zu Kahnemans Kapazitätsmodell die Ressource genauer, und zwar als energetische Ressource, die mit zunehmender Bearbeitungsdauer verbraucht wird (Wickens, 1991). Ist die Ressource erschöpft, kann keine Leistungssteigerung mehr erwartet werden (Baumeister & Vohs, 2007; Kurzban et al., 2013). Zahlreiche Arbeiten zeigen jedoch, dass mit Belohnungen und Anreizen einer Erschöpfung der vorgeschlagenen Ressource entgegengewirkt werden kann. Dies deutet darauf hin, dass diese Modelle fehlerhaft sind (Gailliot & Baumeister, 2007; Inzlicht et al., 2016; Muraven & Slessareva, 2003; Tice, Baumeister, Shmueli & Muraven, 2007).

Die Forschungsergebnisse bezüglich der positiven Wirkung von Belohnungen und Anreizen auf den Ressourcenverbrauch sind bereits in neuere Modelle eingeflossen. So legt beispielsweise das *Strict-Husbanding-Model* eine theoretisch durch die verfügbare Ressource

gegebene obere Leistungsgrenze fest, bei deren Erreichen jedoch nicht zwingend eine Leistungseinbusse erfolgen muss (Muraven, Shmueli & Burkley, 2006). Entsprechend diesem Modell sind Personen mit erschöpfter Ressource grundsätzlich in der Lage, dieselbe Leistung zu erbringen wie Personen, denen noch Ressourcen zur Verfügung stehen. Dies gelingt jedoch nur, wenn sie motiviert sind, die restlichen, noch nicht erschöpften Ressourcen zu investieren. Das *Strict-Husbanding-Model* besagt also, dass Leistungseinbussen alleine auf der eingeschränkten Motivation der Person, die übriggebliebenen Ressourcen zu investieren, basieren, und nicht darauf, dass die Ressourcen restlos aufgebraucht sind (Muraven et al., 2006). Das Modell geht davon aus, dass nicht die Abnahme der verwendbaren Ressourcen zu einer Leistungseinbusse führt, sondern die Motivation der betreffenden Person, ihre Ressourcen zu schonen und nicht für die optimale Bearbeitung einer Aufgabe zu investieren (Kurzban et al., 2013). Aus dem Modell geht jedoch nicht klar hervor, ob es überhaupt zu einer totalen Erschöpfung der Ressource kommen kann und was in einem solchen Fall die Folge davon wäre.

Bezüglich der ressourcentheoretischen Ansätze ist kritisch anzumerken, dass Kahneman (1973) die Begriffe Anstrengung (engl. *effort*), Aufmerksamkeit (engl. *attention*) und Kapazität oder Ressourcen (engl. *capacity*) synonym verwendet, was allgemein zu unscharfen Begrifflichkeiten führt. Eine grosse Schwierigkeit ressourcentheoretischer Modelle ist zudem, dass bisher keine physiologische Ressource nachgewiesen werden konnte. In vielen Studien wurde Glukose in Erwägung gezogen. Da der Blutglukosespiegel bei der Aufrechterhaltung von Selbstkontrolle jedoch nicht erheblich absinkt, wird Glukose als Ressource zunehmend als unwahrscheinlich angesehen (Gibson, 2007; Inzlicht et al., 2016; Kurzban et al., 2013; Molden et al., 2012; Raichle & Gusnard, 2002). Weitere Widersprüche brachten Studien hervor, die zeigen, dass eine erschöpfte Ressource bspw. durch Belohnung wieder „aufgefüllt“ werden kann (Magen & Gross, 2007; Molden et al., 2012; Muraven & Slessareva, 2003; Tice et al., 2007) oder die Erschöpfung der Ressource durch die subjektive Wahrnehmung, Erwartungen und Interpretationen moderiert werden (Inzlicht et al., 2016; Job, Dweck & Walton, 2010; Vohs, Baumeister & Schmeichel, 2012; Werle, Wansink & Payne, 2014). Diese Studien, die die Wichtigkeit motivationaler Aspekte des Leistungsverhaltens hervorheben, sind schwer in Einklang zu bringen mit den ressourcentheoretischen Ansätzen und unterstreichen die Ansicht, dass diese nicht geeignet sind, um die Leistungseinbussen bei Aufgaben mit hohen Anforderungen alleinig durch den Verbrauch von Ressourcen zu erklären.

2.3 Motivationale Ansätze

Neben den aktivierungs- und ressourcentheoretischen Ansätzen entwickelten sich auch motivationstheoretische Ansätze. Diese gehen davon aus, dass Leistungseinbussen durch die mangelnde Motivation des Individuums, das geforderte instrumentelle Verhalten zur Aufgabenbearbeitung zu zeigen, zustande kommen (Brehm & Self, 1989), was als Intensitätsaspekt der Motivation gesehen werden kann (Gendolla & Wright, 2009). Das Ausmass der Motivation, die zur Ausführung des instrumentellen Verhaltens benötigt wird, bestimmt, wie viel für eine erfolgreiche Aufgabenbearbeitung investiert werden kann oder muss (Wright & Kirby, 2001). Da entsprechend den motivationalen Ansätzen die Menschen bestrebt sind, möglichst sparsam mit der eigenen Motivation – die ebenfalls als Ressource bezeichnet wird – umzugehen, wird jeweils nur so viel investiert, wie für die erfolgreiche Bearbeitung einer Aufgabe als notwendig angesehen wird (Handlungsergebniserwartung). Je höher die persönliche Bedeutung einer Aufgabe für die betreffende Person ist, desto stärker ist sie motiviert, die Aufgabe erfolgreich zu bearbeiten und dementsprechend kognitive Prozesse auszuführen. Ist eine erfolgreiche Aufgabenausführung unmöglich oder benötigt sie mehr Motivation, als durch die Erfolgswichtigkeit gerechtfertigt ist, werden keine kognitiven Prozesse in Anspruch genommen und die Aufgabe somit nicht aktiv bearbeitet. In Situationen, in denen der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe unbekannt oder nicht festgelegt ist, ist die Höhe der Motivation proportional zur Erfolgswichtigkeit (Brehm & Self, 1989; Gendolla, Wright & Richter, 2012; Wright & Kirby, 2001). Dieses Ressourcenkonservierungsprinzip vermindert gemäss den motivationalen Ansätzen die Wahrscheinlichkeit von Überanstrengung und Erschöpfung (Gendolla & Richter, 2010).

Die Kernaussage der motivationalen Ansätze ist nach Gendolla und Richter (2010), dass die empfundene Aufgabenschwierigkeit und die Erfolgswichtigkeit zusammen das Ausmass der Mobilisierung mentaler Anstrengung bestimmen.

2.4 Würdigung und Forschungslücken früherer Ansätze

Die vorgestellten Ansätze haben die vertiefte Auseinandersetzung mit mentaler Anstrengung gefördert. Sie haben über viele Jahre hinweg eine Vorreiterrolle eingenommen und dadurch die Vorstellungen und die Erforschung mentaler Anstrengung in der Psychologie und in verwandten Bereichen wie z.B. der Verhaltensökonomie (Inzlicht et al., 2016) beeinflusst. Trotz des intensiven Diskurses zu mentaler Anstrengung und der Ausarbeitung diverser Erklärungsmodelle blieben jedoch Zweifel bestehen und der Begriff der mentalen Anstrengung konnte bisher nicht abschliessend definiert werden. Neue Sichtweisen auf das

Konstrukt der mentalen Anstrengung haben zudem neue Fragen aufgeworfen und Schwachpunkte der bisherigen Theorien aufgezeigt. So konnte zum Beispiel bisher keine plausible physiologische Ressource gefunden werden, welche die bisherigen Befunde zu erklären vermag. Mehrfach wurde auch gezeigt, dass die Möglichkeit besteht, Leistungseinbussen zum Beispiel durch Belohnung zu überwinden (für eine Übersicht siehe Hagger, Wood, Stiff, & Chatzisarantis, 2010).

Diese und weitere Befunde nährten die Zweifel an den Modellen, die eine Ressource als Grundlage für eine erfolgreiche Aufgabenbearbeitung annehmen, und förderten die Entwicklung neuer Erklärungsmodelle.

2.5 Aktuelle Definition mentaler Anstrengung als subjektive Empfindung

Neue Theorien weisen eine Verbindung zu den motivationalen Ansätzen auf, da Leistungseinbussen mitunter durch Veränderungen der Motivation erklärt werden. Leistungseinbussen zeigen sich beispielsweise bei längerdauernden Aufgaben, bei denen die Leistung mit der Zeit abnimmt oder bei mehreren aufeinanderfolgenden, kognitiv anspruchsvollen Aufgaben, bei denen die zweite Aufgabe schlechter bearbeitet wird als die erste. Während bei den aktivierungstheoretischen Ansätzen unklar bleibt, wann Leistungseinbussen auftreten, ziehen ressourcentheoretische Modelle den Verbrauch von Ressourcen als Begründung heran. Motivationale Theorien vertreten die Ansicht, dass die Motivation, Ressourcen zu konservieren, zu Leistungseinbussen führen.

Neuere Perspektiven, darunter Kurzban und Kollegen (2013), vertreten die Ansicht, dass Leistungseinbussen während der Aufgabenbearbeitung durch fehlende oder zu geringe Motivation zustande kommen, Verarbeitungsprozesse oder Aufmerksamkeit für die Bearbeitung dieser Aufgaben zur Verfügung zu stellen. Die Motivation wiederum sei abhängig von den sogenannten Opportunitätskosten. Diese Ansicht geht wie die motivationalen Ansätze davon aus, dass während der Bearbeitung einer Aufgabe kontinuierlich Kosten und Nutzen der Aufgabenbearbeitung abgewogen werden. Die daraus resultierenden Opportunitätskosten entsprechen gemäss diesem Ansatz dem entgangenen Nutzen der nächstbesten Tätigkeit, die aufgrund der aktuellen Tätigkeit nicht ausgeführt werden kann. Aufgaben mit hohen Opportunitätskosten führen zu einem Anstieg des subjektiven Gefühls mentaler Anstrengung. Im Gegensatz zu den früheren Theorien entspricht die mentale Anstrengung bei diesem Ansatz nicht einer Ressource, sondern einer subjektiven Empfindung (Qualia). Dieses subjektive Gefühl ist ein subjektiv bewusst wahrnehmbares Signal des Motivationssystems. Aufgrund des Gefühls mentaler Anstrengung

bei Aufgaben mit hohen Opportunitätskosten wird ein Wechsel zu alternativen Aufgaben mit weniger hohen Opportunitätskosten angestrebt und das Gefühl mentaler Anstrengung nimmt ab, wenn diese Alternative ausgeführt werden kann. Das Gefühl mentaler Anstrengung ist subjektiv und daher abhängig davon, wie Kosten und Nutzen einer Tätigkeit eingeschätzt werden. Das Opportunitätskostenmodell von Kurzban et al. (2013) beschreibt folglich mentale Anstrengung als adaptiven Gefühlszustand, der es fördert, diejenige Tätigkeit auszuführen, welche die geringsten Opportunitätskosten mit sich bringt (für eine detaillierte Beschreibung des Opportunitätskostenmodells siehe Kurzban et al., 2013).

Ein weiteres Modell, welches sich mit dem Opportunitätskostenmodell in Verbindung bringen lässt, ist das von Westbrook und Braver (2015) erarbeitete neuroökonomische Modell. Im Unterschied zum Opportunitätskostenmodell verwenden Westbrook und Braver anstelle von Opportunitätskosten jedoch den Begriff „subjektiver Wert“ (engl. *subjective Value*; SuVa). Je höher der SuVa für eine Person ist, desto mehr ist sie gewillt, eine schwierige Aufgabe zu bearbeiten. Der zur Aufgabenbearbeitung notwendige Aufwand wird ebenfalls in Form von Kosten quantifiziert, kann also mit den Opportunitätskosten gleichgesetzt werden.

Dieser Ansatz wird auch im *valuation model* von Inzlicht, Berkman und Elkins-Browns (2015) aufgenommen. Gemäss diesem Modell setzen sich die Opportunitätskosten respektive der SuVa aus einer Vielzahl von Faktoren wie wahrgenommene Schwierigkeit, monetärer Wert und persönliche Relevanz zusammen. Wie beim Opportunitätskostenmodell sind diese Faktoren dynamisch und verändern sich im Laufe der Zeit. Die Höhe der Opportunitätskosten beeinflusst auch gemäss diesem Modell die Persistenz, mit der die Aufgabe bearbeitet wird (Inzlicht et al., 2016).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass diese neuen Ansätze mentale Anstrengung nicht mehr als Ressource, sondern als eine subjektive Gefühlsqualität beschreiben, welche die subjektiven Kosten und den subjektiven Nutzen einer Aufgabe widerspiegelt. Mit steigender, subjektiv empfundener mentaler Anstrengung ist eine Person demnach zunehmend motiviert, von der aktuellen Tätigkeit zu einer Tätigkeit mit weniger hohen Opportunitätskosten zu wechseln und dadurch das Gefühl mentaler Anstrengung zu senken.

Diese aktuellen Theorien eröffnen neue Perspektiven auf das Konstrukt der mentalen Anstrengung und der damit zusammenhängenden Persistenz der Aufgabenbearbeitung. Die Ursache einer Leistungseinbusse bei langandauernden Aufgaben oder der parallelen Bearbeitung von mehreren Aufgaben wird neu so erklärt, dass die subjektiven Kosten einer

Aufgabe oder Tätigkeit höher sind als der subjektive Nutzen, wodurch sich ein subjektives Gefühl mentaler Anstrengung einstellt, das man wiederum vermeiden möchte (Inzlicht et al., 2016; Kurzban, 2016; Kurzban et al., 2013; Westbrook & Braver, 2015). Es sind also nicht Aufgaben oder Tätigkeiten an sich, die ein subjektives Gefühl mentaler Anstrengung auslösen. Vielmehr wird dieses durch die subjektive Bewertung der subjektiven Wichtigkeit einer Aufgabe und der subjektiven Wichtigkeit einer alternativen Tätigkeit bestimmt. Dieser Ansatz bietet somit eine mögliche Erklärung für die heterogenen Befunde bezüglich Leistungseinbussen und der Beobachtung, dass sich Leistungseinbussen beispielsweise durch Belohnungen aufheben lassen, indem eine Belohnung beispielsweise die Wichtigkeit der Aufgabe erhöht oder mehr Kosten in Kauf genommen werden, um die Belohnung zu erhalten.

Das Verständnis mentaler Anstrengung als subjektive Empfindung kann auch als Erklärung für Leistungseinbussen und Minderleistungen bei neuropsychologischen Untersuchungen herangezogen werden. Während einer neuropsychologischen Untersuchung werden dem Exploranden zahlreiche Aufgaben mit unterschiedlichen kognitiven Anforderungen gestellt. Im Optimalfall ist das übergeordnete Ziel des Exploranden die bestmögliche Aufgabenbearbeitung. Häufig liegen konkurrierende Emotionen, Gedanken oder Verhaltensweisen vor, welche die Aufgabenbearbeitung erschweren. Diese müssen reguliert werden, um das Verhalten so zu steuern, dass das übergeordnete Ziel mit höherem subjektiven Nutzen erreicht werden kann. Im Rahmen einer neuropsychologischen Untersuchung könnte dies also bedeuten, dass die Aufgaben zwar als subjektiv mental anstrengend empfunden werden, aber das übergeordnete Ziel, möglichst gute Leistungen zu zeigen, höher gewichtet wird. Die Verhaltensregulation fördert die Persistenz der Aufgabenbearbeitung, obwohl andere Tätigkeiten zum aktuellen Zeitpunkt reizvoll erscheinen (Baumeister, Vohs & Tice, 2007).

Grundvoraussetzungen für Regulationsprozesse sind die Bereitschaft, sich auf die Aufgaben einzulassen, und das Vorhandensein eines Ziels, das für die Person eine hohe Relevanz aufweist (Inzlicht, Schmeichel & Macrae, 2014). Mit denselben Faktoren kann auch das Verhalten von Exploranden beschrieben werden, die im Rahmen der neuropsychologischen Untersuchung nicht ihre bestmögliche Leistung zeigen möchten. Dabei kann es sich um aggravierendes oder simulierendes Verhalten handeln, das instrumentell ist und mit der Absicht zu täuschen ausgeführt wird. Dabei ist der Nutzen, das täuschende Verhalten zu zeigen, hoch, gleichzeitig wären die Kosten für die aktive Bearbeitung der gestellten Aufgabe sehr hoch, sodass das täuschende Verhalten gezeigt wird. Ebenfalls kann es sich um ein Verhalten handeln, bei dem der Explorand nicht motiviert ist, die Aufgabe

aktiv zu bearbeiten, und kann im Sinne einer Ressourcenbewirtschaftung interpretiert werden. Sein übergeordnetes Ziel ist, die Aufgaben ungenügend zu bearbeiten, um seine Beschwerden gut darzustellen. Die Aufgabenbearbeitung ist für diese Exploranden mit sehr hohen Opportunitätskosten verbunden. Eine ungenügende Bearbeitung ist mit erheblich weniger Opportunitätskosten und somit auch mit einem deutlich weniger starken Gefühl von subjektiver mentaler Anstrengung verbunden. Sowohl aggravierendes Verhalten als auch das nicht aktive Bearbeiten von Aufgaben kann als selbstlimitierendes Leistungsverhalten bezeichnet werden.

In der vorliegenden Arbeit wird mentale Anstrengung dementsprechend als Empfindung definiert, die insbesondere im Zusammenhang mit der Bereitschaft, eine Aufgabe aktiv zu bewältigen, auftritt (Kurzban et al., 2013). Mentale Anstrengung im Sinne einer Qualia, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet wird, ist abzugrenzen von mentaler Anstrengung im Sinne subjektiver Ressourcenallokation, wie sie von Brehm und Self (1989) beschrieben wird.

Für eine neuropsychologische Untersuchung ist dementsprechend die Frage, wie viel in das Ziel einer optimalen Aufgabenbearbeitung investiert wird. Falls kein selbstlimitierendes Leistungsverhalten vorliegt, wird die Persistenz bei der jeweiligen Aufgabenbearbeitung massgeblich davon beeinflusst, wie hoch die Opportunitätskosten der einzelnen Aufgaben sind und als wie hoch das damit verbundene Gefühl subjektiver mentaler Anstrengung wahrgenommen wird (W. Kool, McGuire, Rosen & Botvinick, 2010; Kurzban et al., 2013). Diese Modelle, die Leistungseinbussen durch das subjektive Gefühl mentaler Anstrengung erklären, ermöglichen einen neuen Blick auf Handlungsmotive eines Exploranden im neuropsychologischen Untersuchungskontext und bieten dadurch mögliche Erklärungen für seine Verhaltensweisen.

Obwohl diese Ansätze schlüssige Erklärungen für das Leistungsverhalten von Exploranden während der neuropsychologischen Untersuchung liefern, ist das subjektive Gefühl mentaler Anstrengung nicht messbar, nur durch Selbstberichte zugänglich und zeitlich hoch dynamisch. Um dennoch eine Aussage zur Validität der Testleistungen machen zu können, muss ein anderer Zugang zum Leistungsverhalten geschaffen werden. Dieser muss auf ein dynamisches System fokussieren, welches kognitive Prozesse zur Aufgabenbearbeitung widerspiegelt und dabei leicht zugänglich ist. Bereits die aktivierungstheoretischen Ansätze verweisen auf einen Zusammenhang zwischen kognitiver Aktivität und physiologischen Messwerten. Diese Zusammenhänge sind nicht wie ursprünglich angenommen linear. Obschon diese Annahme der Linearität dem

Zusammenspiel kognitiver und physiologischer Prozesse nicht gerecht wird, konnten bereits viele Studien physiologische Veränderungen bei Aufgaben mit hohen kognitiven Anforderungen nachweisen. Zur Erfassung dieser physiologischen Veränderungen bieten sich viele verschiedene Zugänge. Ein häufig gewählter Zugang sind Messwerte der Herztätigkeit und des damit verbundenen kardiovaskulären Systems (Cacioppo, 1977; Henelius et al., 2009; Jorna, 1992; Mukherjee et al., 2011; Stewart et al., 2009; Stuiver et al., 2012; Van Roon et al., 2004). Obrist (1981) beschrieb, dass das kardiovaskuläre System mit zunehmender Schwierigkeit von kognitiven Anforderungen stärker reagiert. Dies sei jedoch nur der Fall, wenn der Explorand die Anforderungen aktiv bewältigt (*Active Coping*). Demnach besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Parametern der kardiovaskulären Aktivität und dem Leistungsverhalten, weshalb sie sich für die Objektivierung des Leistungsverhaltens in der neuropsychologischen Untersuchung zu eignen scheinen.

3 Neuropsychologische Grundlagen

Um die theoretischen Zusammenhänge zwischen kognitiv fordernden Aufgaben, die bei der Bearbeitung zu einer subjektiven Empfindung mentaler Anstrengung führen, und Veränderungen auf körperlicher Ebene nachvollziehen zu können, werden im folgenden Kapitel physiologische und neuronale Grundlagen des autonomen Nervensystems (ANS) sowie des Herzens und des damit verbundenen neuronalen Netzwerks – das zentrale autonome Netzwerk (engl. *central autonomic network*; CAN) – vorgestellt. Anschliessend werden die regulatorischen Einflüsse des CAN auf das kardiovaskuläre System mit Fokus auf die Herzrate (HR) und die Herzratenvariabilität (HRV) beschrieben. Abschliessend wird der Einfluss von Hirnläsionen auf die HR und die HRV diskutiert.

3.1 Autonomes Nervensystem

Das ANS¹⁰ hat einen regulatorischen Einfluss auf die Herztätigkeit (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014; Trepel, 2008) und umfasst den peripheren Anteil des Nervensystems, welcher der willentlichen Kontrolle mehrheitlich entzogen ist – sich also autonom verhält – und lebenswichtige Körperfunktionen steuert (Trepel, 2008). Zu diesen gehören unter anderem der Blutdruck, die HR, die Körpertemperatur und die Verdauung (Jänig, 2011). Die zwei Hauptfunktionen des ANS sind die Aufrechterhaltung des inneren Körpermilieus (Homöostase) und die Anpassung von Organfunktionen an Veränderungen der Umweltanforderungen und internalen Anforderungen (Huppelsberg & Walter, 2013; Trepel,

¹⁰ Das ANS wird oft auch synonym als vegetatives Nervensystem bezeichnet.

2008). Um diese komplexe Regulation körperlicher Funktionen gewährleisten zu können, ist das ANS mit einer Vielzahl an Rückmeldeschleifen versehen, die den Ist-Zustand des Körpers an das Gehirn zurückleiten. Diese Rückmeldeschleifen ermöglichen es, dass die Regulationszentren des zentralen Nervensystems (ZNS) regulierend auf autonome Prozesse Einfluss nehmen können (Schandry, 2006).

Das ANS kann aufgrund funktioneller, anatomischer und neurochemischer Unterschiede in die zwei Hauptkomponenten Sympathikus und Parasympathikus unterteilt werden. Neben Sympathikus und Parasympathikus wird auch das Darmnervensystem dem ANS zugeordnet, wobei dieses weitgehend unabhängig ist (Jänig, 2011; Trepel, 2008), weshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter auf das Darmnervensystem eingegangen wird. Bis auf wenige Ausnahmen werden alle inneren Organe des menschlichen Körpers sowohl durch den Sympathikus als auch den Parasympathikus innerviert, wobei die beiden Komponenten komplementäre Funktionen ausüben. Der Sympathikus wirkt mehrheitlich aktivierend und der Parasympathikus hemmend auf die Organe (Schandry, 2006; Trepel, 2008). Die sympathische Aktivierung dient dazu, den Körper an erhöhte Anforderungen wie beispielsweise körperliche oder mentale Anforderungen anzupassen. Parasympathische Aktivierung wird aufgrund des hemmenden Einflusses auf die Organe mit Entspannung und Regeneration des Körpers in Verbindung gebracht (Schandry, 2006; Trepel, 2008). Dieses Gegenspiel der beiden ANS-Komponenten sollte aber nicht als reiner Antagonismus verstanden werden (Jänig, 2011), sondern eher als funktioneller Synergismus, denn die beiden Systeme ergänzen sich und bilden eine Balance. Diese wird als sympathovagale Balance bezeichnet (Schandry, 2006). Befindet sich eine Person im Ruhezustand, lässt sich eine tonische Aktivität von Sympathikus und Parasympathikus feststellen (Jose & Collison, 1970; Levy, 1990). Im Ruhezustand überwiegt die parasympathische Aktivität (Thayer & Lane, 2009), was als vagale Dominanz bezeichnet wird (Brämer & Hoyer, 2014; Palma & Benarroch, 2014).

Die HR und die HRV werden als Indikatoren dieser Balance interpretiert und können dank heutiger Technologien mit geringem Aufwand und non-invasiv aufgezeichnet werden. Um ein vertieftes Verständnis des Zusammenspiels von ANS und ZNS zu erreichen, muss in einem ersten Schritt die Herztätigkeit an sich, unabhängig von den Einflüssen des ANS, betrachtet werden. Anschliessend werden die Einflüsse von Sympathikus und Parasympathikus aufgezeigt und es wird die Verbindung mit den Hirnstrukturen beschrieben.

3.1.1 Physiologie des Herzens

Das Herz verfügt über ein eigenes Erregungsleitungssystem, das eigenständige Kontraktionen des Herzmuskels (Myokard) auslösen kann. Zu diesem System, das in Abbildung 2 dargestellt ist, gehören der Sinusknoten (SA-Knoten), der Atrioventrikularknoten (AV-Knoten), das His-Bündel und die Purkinje-Fasern (Mangoni & Nargeot, 2008). Grundsätzlich kann jede dieser Muskelzellen dieses Erregungsleitungssystems als sogenannte Schrittmacherzelle eine Kontraktion des Herzmuskels (Myokard) auslösen und somit Ursprung einer Erregung des Myokards sein (Schwegler, 2011).

Der Ursprungspunkt der elektrischen Erregung und somit der Kontraktion des Myokards liegt beim SA-Knoten. Das Herz besteht aus zwei Vorhöfen und zwei Kammern. Der SA-Knoten befindet sich in der Gefäßwand oberhalb der Vorhöfe, der AV-Knoten zwischen den Vorhöfen und den beiden Kammern. Wird das Herz als geschlossenes System ohne äussere Beeinflussung betrachtet, generiert der SA-Knoten rhythmische Aktionspotentiale – den Sinusrhythmus – mit 60-80 Kontraktionen pro Minute (Schwegler, 2011). Die vom SA-Knoten ausgehende Erregung wird über die Vorhofwand an den AV-Knoten weitergeleitet. Dort wird die Reizweiterleitung um 20-60ms verzögert. In dieser Zeit kommt es zu einer Kontraktion der Vorhöfe und das Blut wird aus den Vorhöfen in die Kammern transportiert. Falls der SA-Knoten ausfällt und keine Aktionspotenziale generiert, kann der AV-Knoten die Schrittmacherfunktion mit einer Eigenfrequenz von ca. 50 Kontraktionen pro Minute übernehmen (Schwegler, 2011).

Nach der Verzögerung der Reizweiterleitung durch den AV-Knoten wird die Erregung über das His-Bündel, das sich im Kammerseptum, der Trennwand zwischen den beiden Kammern, befindet, weitergeleitet. Das His-Bündel trennt sich nach kurzem gemeinsamem Verlauf in drei Schenkel auf, einen rechten und zwei linke, die weiter durch das Kammerseptum bis zur Herzspitze verlaufen (Schwegler, 2011). An der Herzspitze teilen sich diese Schenkel in die Purkinje-Fasern auf, die das Myokard innervieren. Dies führt zu einer Kontraktion des Myokards, wodurch das Blut ausgeschüttet wird (Schwegler, 2011). Fallen SA- und AV-Knoten aus oder ist die Erregungsleitung unterhalb des AV-Knotens unterbrochen, kann die Schrittmacherfunktion auch durch diese Anteile des Erregungsleitungssystems mit ca. 30 Kontraktionen pro Minute übernommen werden (Schwegler, 2011).

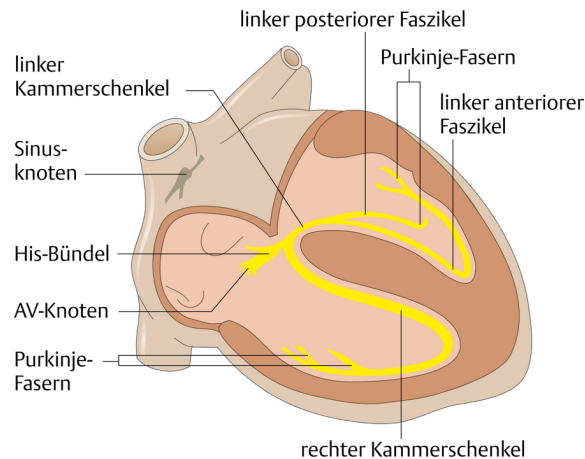


Abbildung 2. Erregungsleitungssystem des Herzen (Quelle: Bommas-Ebert, Teubner und Voss, 2011)

Das Herz ist jedoch kein geschlossenes System, sondern es hängt mit anderen Systemen zusammen. Ein gesundes physiologisches Funktionieren kommt durch ein kontinuierliches, dynamisches Zusammenspiel zwischen neuronalen, humoralen und mechanischen Kontrollsystemen auf lokaler und zentraler Ebene zustande. Dieses Zusammenspiel beruht auf einer kontinuierlichen, dynamischen Interaktion von ZNS und ANS (Shaffer et al., 2014).

Das ANS übernimmt dabei eine regulierende Funktion, um die Herzleistung an internale oder Umweltveränderungen anzupassen. Die sympathische und parasympathische Aktivität beeinflussen die Tätigkeit der Schrittmacherzellen und somit auch die Herztätigkeit (Appelhans & Luecken, 2006). Die sympathische Aktivität wirkt erregend auf die Schrittmacherzellen. Dies führt zu einer häufigeren Depolarisation des SA-Knotens und einer schnelleren Reizweiterleitung durch den AV-Knoten sowie einer stärkeren Erregung von His-Bündel und Purkinje-Fasern. Insgesamt bewirkt dies einen Anstieg der HR (Appelhans & Luecken, 2006). Die parasympathische Aktivität hingegen führt zu einer Inhibition der Schrittmacherzellen des SA- und des AV-Knotens. Dies führt zu einer weniger häufigen Depolarisation des SA-Knotens und zu einer langsameren Reizweiterleitung durch den AV-Knoten. Folglich kommt es zu einer tieferen HR (Appelhans & Luecken, 2006).

Einen der wichtigsten Unterschiede zwischen Sympathikus und Parasympathikus stellt das unterschiedliche Neurotransmittersystem und dessen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Reizweiterleitung innerhalb ihrer jeweiligen Systeme dar (Schandry, 2006). Die sympathische Aktivierung wird hauptsächlich über Noradrenalin an die Organe vermittelt. Der maximale Effekt sympathischer Aktivierung tritt nach ungefähr vier bis fünf Sekunden ein (Appelhans & Luecken, 2006; Nunan, Sandercock & Brodie, 2010). Die parasympathische Aktivierung, deren Hauptneurotransmitter am Organ Acetylcholin ist, benötigt mit weniger als einer

Sekunde viel weniger Zeit bis zur Erreichung des maximalen Effekts (Appelhans & Luecken, 2006).

Die zielgerichtete Regulation der Herztätigkeit durch sympathische und parasympathische Einflüsse erfolgt über ein Netzwerk aus kortikalen und subkortikalen Strukturen sowie Hirnstammkernen (Benarroch, 1993, 2014; Thayer & Lane, 2000). Der Sympathikus und der Parasympathikus entspringen dem Hirnstamm. Viele basale Körperprozesse wie die Atmung oder das Erbrechen werden durch die Hirnstammkerne kontrolliert und reguliert (Benarroch, 2014). Da die sympathische und die parasympathische Aktivität auch an Veränderungen der Umwelt, wie beispielsweise sich verändernde kognitive Anforderungen, angepasst werden muss, ist es notwendig, dass einerseits zentralnervöse Prozesse Einfluss auf autonome Prozesse nehmen und andererseits Signale des ANS auf zentralnervöser Ebene integriert werden können. Eduardo Benarroch hat mit dem CAN einen Verbund von Strukturen beschrieben, die massgeblich an dieser Regulation beteiligt sind (Benarroch, 1993, 2014).

3.1.2 Zentrales autonomes Netzwerk

Die Strukturen des CAN umfassen den insulären Kortex, den anterior cingulären Kortex, die Amygdala, den Hypothalamus, das periaquäduktale Grau, den Nukleus Parabrachialis, den Nukleus Traktus Solitarii (NTS) sowie die ventrolaterale retikuläre Formation der Medulla und der Raphe-Kerne. Diese Strukturen sind neben der autonomen Regulation auch für kognitive Prozesse (Hovland et al., 2012; Smith, Thayer, Khalsa & Lane, 2017) und emotionale Prozesse von zentraler Bedeutung (Amft et al., 2015; Beissner, Meissner, Bär & Napadow, 2013; Bickart, Dickerson & Feldman Barrett, 2014). Dies ermöglicht eine enge Verbindung von autonomer Regulation mit Kognition und Emotion. Diese Verbindung zwischen dem autonomen und dem zentralen Nervensystem führt dazu, dass beispielsweise kognitive oder emotionale Prozesse Körperfunktionen wie die Herztätigkeit beeinflussen können. Ebenfalls beeinflusst die Wahrnehmung des Körperzustands zentralnervöse Prozesse, sodass kognitive und emotionale Prozesse durch Umwelteinflüsse und Veränderungen des Körperzustands beeinflusst werden (Critchley, Eccles & Garfinkel, 2013). Nachfolgend werden zuerst die Integration von Körper- und Umweltsignalen auf zentralnervöser Ebene kurz beschrieben und anschliessend die zentralnervöse Kontrolle des autonomen Nervensystems in Abhängigkeit von Kognition und Emotion.

Eine elementare Eigenschaft des CAN ist die Integration viszeraler aufsteigender (afferenter) Informationen mit Informationen aus Schmerz-, Thermo- und Muskelrezeptoren sowie Barorezeptoren, die Veränderungen des Blutdrucks registrieren. All diese Informationen ergeben ein Gesamtbild des aktuellen Körperzustands (Craig, 2003). Der Informationsfluss der absteigenden (efferenten) und afferenten Informationen ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt und erklärt. Die afferenten Nervenfasern senden über das Rückenmark und den Hirnstamm via Thalamus viszerale und sensorische Informationen zum insulären Kortex. Der insuläre Kortex formt zusammen mit dem anterioren cingulären Kortex und der Amygdala ein eng verbundenes Netzwerk (Thayer & Lane, 2000).

Dieses Netzwerk aus Amygdala, insulärem und cingulärem Kortex hat über drei verschiedene efferente Wege die Möglichkeit, zu einer Veränderung der Herzaktivität beizutragen. Diese efferenten Wege sind schematisch in Abbildung 4 dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Ausgangspunkt der efferenten Regulation ist die Amygdala. Die Amygdala ist ein zentraler Knotenpunkt für die Beurteilung der Relevanz von Signalen, was für die Anpassung an internale oder externale Veränderungen besonders wichtig ist, da in erster Linie eine Anpassung an relevante Reize notwendig ist. Die Amygdala wird durch den Präfrontalkortex tonisch inhibiert, durch relevante Veränderungen der internalen und externalen Umwelt jedoch stark aktiviert (Shekhar, Sajdyk, Gehlert & Rainnie, 2006). Kommt es zu einer Disinhibition der Amygdala, führt dies zu einer Zunahme der HR. Die Zunahme der HR kann sowohl die Folge einer Veränderung der sympathischen als auch der parasympathischen Aktivierung sein. Auf der kortikalen und der subkortikalen Ebene können der Sympathikus und der Parasympathikus nicht eindeutig unterschieden werden (Trepel, 2008). Die Unterscheidung in sympathische und parasympathische Pfade kann erst auf der Ebene des Hirnstamms und des Rückenmarks vorgenommen werden (Palma & Benarroch, 2014).

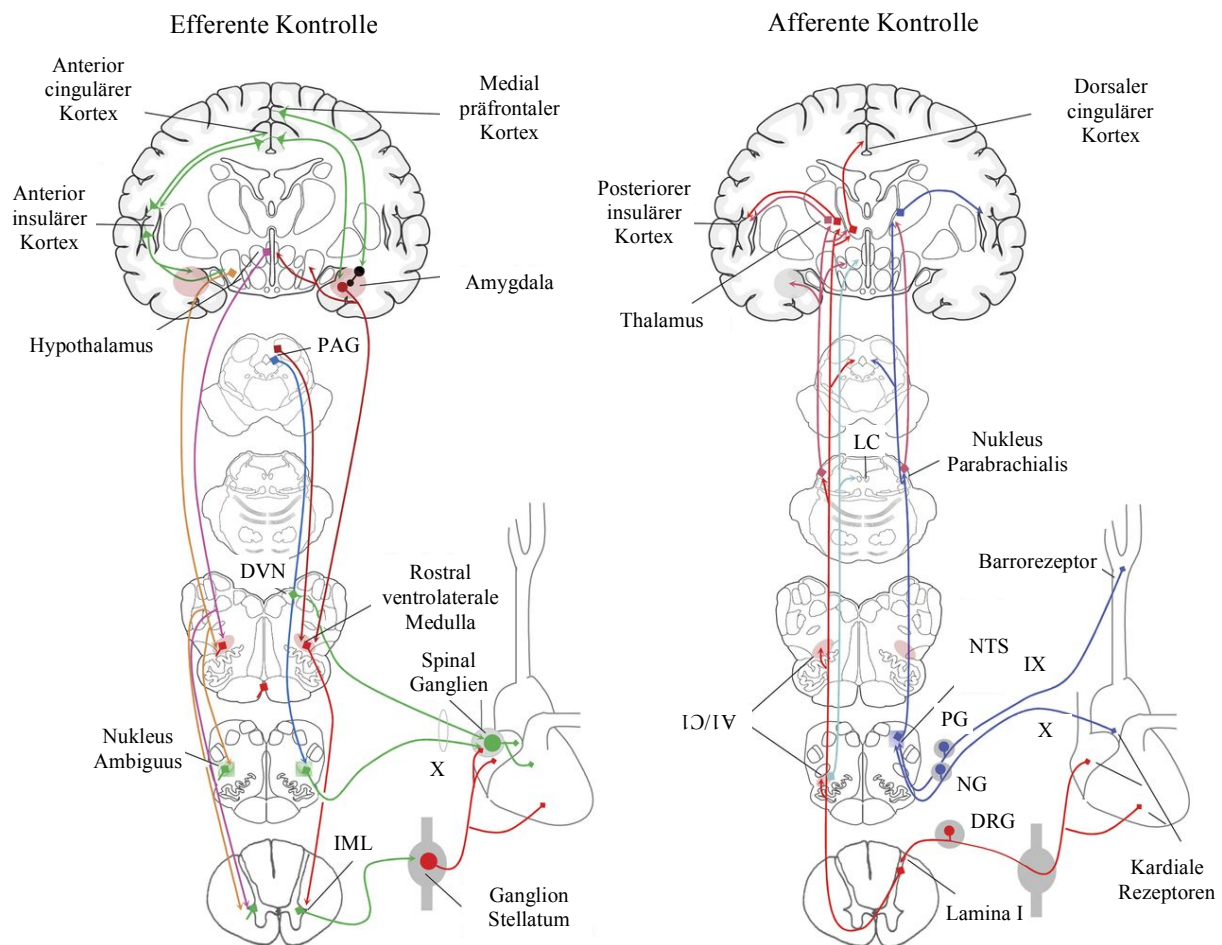


Abbildung 3. Efferente und afferente Kontrolle der Herzregulation adaptiert nach Palma & Benarroch, 2014. Eine ausführliche Beschreibung der efferenten und der afferenten Kontrolle ist auf Seite 263 in Palma und Benarroch, 2014 zu finden. Bemerkung: DRG = Dorsale Wurzelganglien; DVN = Nukleus dorsalis nervi vagi; IML = intermediolaterale Zellkolonne; IX = Nervus glossopharyngeus; LC = Locus coeruleus; NG = Ganglion Nodosum; NTS = Nukleus Traktus Solitarius; PAG = Periaquäduktales Grau; PG = Ganglion Petrosi; X = Nervus Vagus (10. Hirnnerv).

Eine Veränderung der sympathovagalen Balance kann auf drei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Einerseits kann eine Aktivierung der Amygdala zu einer Inhibition des NTS führen. Die Inhibition des NTS führt zu einer Inhibition des tonisch aktivierten Nukleus Ambiguus sowie des dorsalen vagalen Nukleus (Thayer & Lane, 2009). Diesen beiden Kernen entspringt der Parasympathikus (Gibbins, 1990). Die Inhibition dieser beiden Nuklei führt folglich zu einer Abnahme der parasympathischen Aktivität am Herzen (Thayer & Lane, 2009). Andererseits führt die Inhibition des NTS zu einer Disinhibition der kaudalen Anteile der ventrolateralen Medulla und dadurch zu einer Disinhibition der rostralen Anteile der ventrolateralen Medulla, wo der Sympathikus entspringt. Dies führt dementsprechend zu einer Zunahme der sympathischen Aktivierung. Zusätzlich zu diesen beiden Wegen über den NTS besteht eine direkte Verbindung zwischen der Amygdala und den rostralen Arealen der

ventrolateralen Medulla. Die Disinhibition der Amygdala kann zu einer direkten Aktivierung der rostralen Anteile der ventrolateralen Medulla führen, was zu einer Zunahme der sympathischen Aktivität am Herzen führt (Thayer, Hansen, Saus-Rose & Johnsen, 2009; Thayer & Lane, 2009). Die sympathische Aktivität wird von der ventrolateralen Medulla, die tonisch erregt ist, und über die intermediolaterale Zellkolonne zum Erregungsleitungssystem des Herzens projiziert und führt somit zu einer Zunahme der HR (Thayer & Lane, 2009).

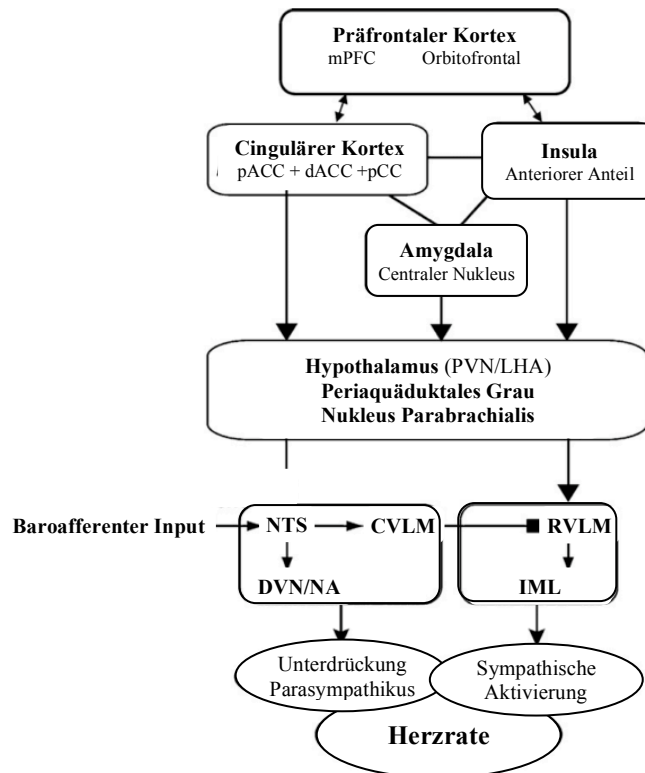


Abbildung 4. Schematische Darstellung der bidirektionalen Verbindungen kortikaler und subkortikaler Strukturen des zentralen autonomen Netzwerks (CAN). Adaptiert nach Thayer & Lane (2009).

Bemerkung: Die Pfeile stehen für Aktivierung, die Quadrate für Inhibition; CVLM = kaudale ventrolaterale Medulla; dACC = dorsaler anteriorer cingulärer Kortex; DVN = Nukleus dorsalis nervi vagi; IML = intermediolaterale Zellkolonne; LHA = lateraler Hypothalamus; mPFC = medialer Präfrontaler Kortex; NA = Nukleus Ambiguus; NTS = Nukleus Traktus Solitarii; pACC = dorsaler anteriorer cingulärer Kortex; pCC = posteriorer cingulärer Kortex; PVN = Paraventriculärer Nukleus; RVLM = rostral ventrolaterale Medulla.

Das autonome Nervensystem ist das primäre Regulationssystem von Körperfunktionen. Sympathische und parasympathische Signale erreichen fast alle Organe (Brading, 1999) und ermöglichen eine kontinuierliche Kontrolle der vegetativen Prozesse sowie eine dynamische Anpassung des Körperzustands bei Veränderungen der externalen und internalen Anforderungen (Critchley, 2005). Damit die autonome Aktivität und somit diverse Körperfunktionen, wozu auch die Herztätigkeit zählt, optimal an Veränderungen der internalen und externalen Anforderungen angepasst werden können, müssen einerseits

Informationen zum Körperzustand und andererseits solche aus der Umwelt einbezogen werden. Diese Anpassung auf körperlicher Ebene ist notwendig, um kognitive und emotionale Prozesse optimal ausführen zu können.

Das CAN ist massgeblich an der Regulation autonomer Prozesse beteiligt und beeinflusst somit auch die HR und die HRV. Auf dieser Grundlage beruhen zwei verschiedene Ansätze, die autonome Veränderungen mit kognitiven und emotionalen Prozessen in Verbindung bringen. Zum einen ist dies die polyvagale Theorie von Steven Porges (Porges, 1995, 2001, 2003), zum anderen das Modell der neuroviszeralen Integration, das die Forschungsgruppe um Julian Thayer entwickelte (Thayer, Åhs, Fredrikson, Sollers III & Wager, 2012; Thayer et al., 2009; Thayer & Lane, 2000, 2009). Grundsätzlich postulieren beide Ansätze einen Zusammenhang der Strukturen des CAN mit autonomen Regulationsprozessen sowie kognitiven und emotionalen Prozessen. Die polyvagale Theorie ist jedoch Gegenstand einer intensiven Diskussion, da sich grundlegende Prämissen teilweise nicht bestätigen oder gar widerlegen lassen (Grossman & Taylor, 2007). Die vorliegende Arbeit bezieht sich daher auf das Modell der neuroviszeralen Integration, das durch viele Befunde aus Studien mit funktioneller Bildgebung und neurophysiologischen Massen breit gestützt wird.

3.1.3 Das Modell der neuroviszeralen Integration

Das Modell der neuroviszeralen Integration beschreibt das CAN als funktionelles Netzwerk, das nicht nur mit der Regulation der HR und der HRV in Verbindung gebracht werden kann, sondern auch mit exekutiven Prozessen wie der Handlungssteuerung und der Regulation von Kognition, Aufmerksamkeit und Emotion (Smith et al., 2017; Thayer et al., 2012, 2009; Thayer & Lane, 2000). Die Strukturen des CAN werden also nicht nur mit autonomen Kontrollprozessen in Verbindung gebracht, sondern auch mit affektiven und kognitiven Prozessen. Sie bieten einen Erklärungsansatz für adaptives Verhalten, das durch physiologische, affektive, kognitive und soziale sowie Verhaltens- und Umwelteinflüsse mitbestimmt wird (Thayer & Lane, 2000). Gerade wegen der Verschiedenartigkeit dieser Einflüsse ist die Flexibilität des ANS ein Kennzeichen von erfolgreicher Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Körperzustände und Umweltanforderungen (Thayer et al., 2009). Diese adaptiven Veränderungen aufgrund der Anpassung an internale und externale Anforderungen wie beispielsweise kognitiv fordernde Aufgaben können mit der HR und der HRV gemessen werden (Thayer & Lane, 2000). Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, mittels der HR- und der HRV-Parameter das Leistungsverhalten von Probanden während einer neuropsychologischen

Untersuchung zu beurteilen. Daher ist insbesondere die Verbindung zwischen kognitiven Funktionen und Veränderungen der HR und der HRV von Interesse.

Nachdem in der Vergangenheit versucht wurde, einzelne kognitive Funktionen spezifischen hauptsächlich präfrontalen Kortexarealen zuzuschreiben, scheint dies aus heutiger Sicht wenig sinnvoll (Alvarez & Emory, 2006; Carpenter, Just & Reichle, 2000; Elliott, 2003; Koechlin, Corrado, Pietrini & Grafman, 2000; Stuss & Alexander, 2000). Zwei grosse Meta-Analysen legen nahe, dass bei kognitiv fordernden Aufgaben ein distribuiertes neuronales Netzwerk frontaler und nicht-frontaler Hirnregionen aktiviert wird (Beissner et al., 2013; Niendam et al., 2012). Dazu gehören neben diversen frontalen Kortexregionen wie dem dorsolateralen, dem orbitofrontalen (Niendam et al., 2012) und dem ventromedialen präfrontalen Kortex auch der cinguläre Kortex, die Insula, die Amygdala (Beissner et al., 2013), der Thalamus sowie weitere kortikale und subkortikale Strukturen (Niendam et al., 2012). Es handelt sich also um neuronale netzwerkartige Verbindungen, die im Zuge der Ausführung kognitiver Funktionen aktiviert werden und denen neben frontalen Arealen weitere kortikale sowie subkortikale und Hirnstammkerne angehören (Beissner et al., 2013; Carpenter et al., 2000; Elliott, 2003; Lewis, Dove, Robbins, Barker & Owen, 2004; Monchi, Petrides, Strafella, Worsley & Doyon, 2006; Niendam et al., 2012). Zu den kognitiven Funktionen, die mit diesem Netzwerk assoziiert werden, gehören Inhibition, Arbeitsgedächtnis, Daueraufmerksamkeit und mentale Flexibilität (Thayer et al., 2009). Weiter zählen auch die Überwachung von Konflikten während der Bearbeitung von Aufgaben (Botvinick, 2007; Swick & Turken, 2002), die Registrierung und Bewertung einer Abnahme von Belohnungen (G. Bush et al., 2002; Croxson, Walton, O'Reilly, Behrens & Rushworth, 2009) und die Abwägung von Kosten und Nutzen (Croxson et al., 2009; Hayden, Pearson & Platt, 2009) sowie belohnungsgebundenes Entscheidungsverhalten dazu (Rushworth, Kolling, Sallet & Mars, 2012; Stuss & Alexander, 2007; Wallis & Kennerley, 2011). Dieses Netzwerk spielt demnach eine zentrale Rolle für das Abschätzen von Kosten und Nutzen eines Verhaltens und ermöglicht, das Verhalten entsprechend flexibel an internale Ziele anzupassen und nicht nur automatischen Verhaltenstendenzen zu folgen (Botvinick & Cohen, 2014; Kolling et al., 2016).

Da dieselben kortikalen und subkortikalen Regionen sowie die Hirnstammkerne sowohl mit der Regulation der HR und der HRV als auch mit kognitiven Prozessen in Verbindung gebracht werden, kann ein Zusammenhang zwischen der HR sowie der HRV und kognitiven Prozessen hergestellt werden. Thayer et al. (2009) postulieren basierend auf ihrer Übersichtsarbeit, dass aufgrund der HRV Rückschlüsse auf kognitive Prozesse gezogen

werden können. Entsprechend können die HR und die HRV als Index für die Ausführung von kognitiven Funktionen herangezogen werden.

Bereits Obrist (1981) beschrieb, dass das kardiovaskuläre System mit zunehmenden kognitiven Anforderungen stärker reagiert. Diese Reaktion finde jedoch nur statt, wenn die Anforderungen aktiv – also im Sinne von Active Coping – bewältigt werden. Übertragen auf die vorliegende Arbeit bedeutet dies, dass HR und HRV geeignete Parameter sind, um das Leistungsverhalten von Exploranden zu beurteilen. Denn nur wenn der Explorand die Aufgaben mit hinreichender Motivation und somit aktiv bearbeitet, sollte es zu einer Veränderung der HR und HRV kommen. Dies steht im Gegensatz zu einem Exploranden, der die Aufgabe mit selbstlimitierendem Leistungsverhalten bearbeitet und die Aufgabe somit nicht aktiv bearbeitet oder sich bewusst zurückhält (Non-Coping). Dabei sollte es zu keiner aufgabenspezifischen Veränderung der HR und HRV kommen.

Dass die HR und die HRV als ein Index für Leistungsverhalten interpretiert werden können, legen zudem viele Studien nahe, die spezifische Veränderungen der HR und der HRV beim Bearbeiten von kognitiv fordernden Aufgaben zeigen konnten, wie beispielsweise für Aufgaben zur Handlungsplanung (Stuiver et al., 2012), zur Verarbeitungsgeschwindigkeit (Durantin, Gagnon, Tremblay & Dehais, 2014), zum Arbeitsgedächtnis (Durantin et al., 2014; Mukherjee et al., 2011; Veltman & Gaillard, 1996) oder zur Aufmerksamkeit (Luque-Casado, Zabala, Morales, Mateo-March & Sanabria, 2013; Wood, Maraj, Lee & Reyes, 2002). Dass die HR und die HRV als Index für Leistungsverhalten interpretiert werden können, wird weiter dadurch unterstützt, dass bei kognitiv wenig fordernden Aufgaben keine aufgabenspezifischen Veränderungen der HR und der HRV gefunden werden konnten (Hugdahl et al., 2000).

Dank der technisch einfachen und nicht-invasiven Erfassung der HR und der HRV lassen sich Informationen über das Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus gewinnen und es können basierend auf diesen Informationen Rückschlüsse auf das Leistungsverhalten gezogen werden und dadurch indirekt auch auf die kognitiven Funktionen. Im folgenden Unterkapitel werden deshalb die unterschiedlichen HR- und HRV-Parameter eingeführt und diskutiert.

3.2 Herzrate und Herzratenvariabilität

Die HR ist ein Mass für die Herzleistung und wird basierend auf der Anzahl Kontraktionen des Herzens pro Minute (engl. *beats per minute*; bpm) quantifiziert. Jede Kontraktion des Myokards wird durch eine Ausbreitung eines elektrischen Aktionspotentials,

der Erregungsausbreitung, ausgelöst. Die Erregungsausbreitung kann mittels Elektrokardiographie (EKG) aufgezeichnet werden. Das EKG bildet die Erregungsleitung des Herzens ab. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 dargestellt. Die einzelnen Ausschläge widerspiegeln die elektrische Spannungsänderung, welche durch die Erregungsausbreitung zustande kommt und zur Kontraktion des Myokards führt (Huppelsberg & Walter, 2013). Die elektrischen Spannungsänderungen werden im EKG in Form von verschiedenen Zacken abgebildet. Die R-Zacke ist am deutlichsten sichtbar und wird als eindeutiger Referenzpunkt markiert. Das Zeitintervall zwischen zwei R-Zacken widerspiegelt einen Herzzyklus.

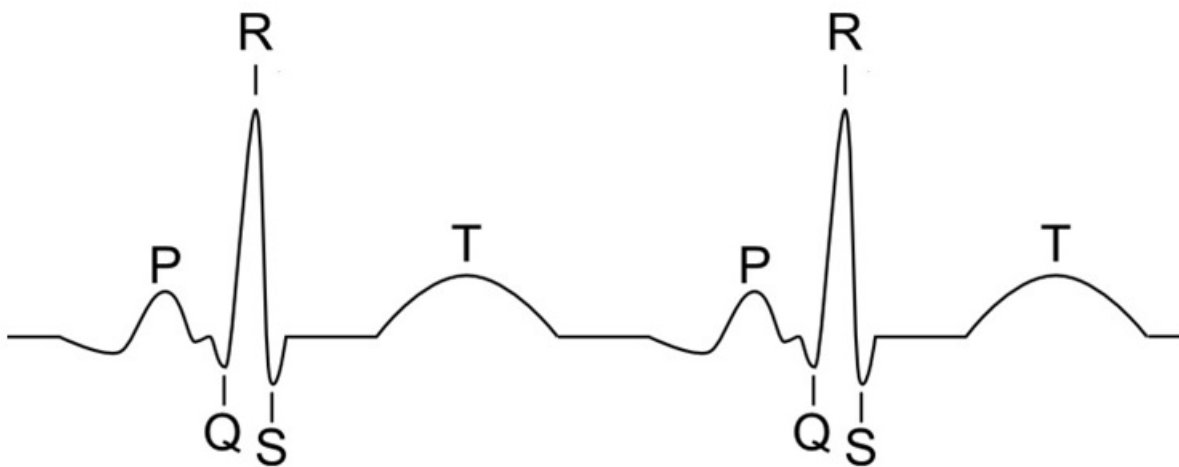


Abbildung 5. Schematische Darstellung zweier QRS-Komplexe. Adaptiert nach Gramann und Schandry (2009).

Die Zeitintervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschlägen werden als RR-Intervalle bezeichnet und in Millisekunden angegeben (*Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology*, 1996; nachfolgend Task Force genannt). Aus der Anzahl R-Zacken pro Minuten wird die HR berechnet, die bei einer gesunden Person im Ruhezustand zwischen 60 und 80 bpm liegt (Huppelsberg & Walter, 2013), wobei 30 bpm (deutliche Bradykardie) die Untergrenze und Werte von ca. 220 bpm abzüglich Lebensjahre die Obergrenze des Spektrums darstellen (Ahmed et al., 2017). Die HR und die HRV sind jedoch sehr individuell und abhängig von Faktoren wie Alter und Geschlecht (Massaro & Pecchia, 2016). Ein weiterer Unterschied entsteht durch das unterschiedliche Fitnessniveau von Personen. Trainierte Personen haben eine tiefere HR und eine höhere HRV als untrainierte Personen (Massaro & Pecchia, 2016).

Die HR und die HRV können mit vielen verschiedenen Methoden analysiert werden. Es können zeitbasierte, frequenzbasierte oder nicht-lineare Methoden herangezogen werden. Mittlerweile gibt es diverse Messgeräte, die die Aufzeichnung der HR automatisiert haben und dadurch einfach machen. Die Interpretation der diversen Parameter ist jedoch komplexer

als gemeinhin angenommen. Daher besteht eine grosse Gefahr, diese Parameter inkorrekt zu verwenden oder für exzessive und unbegründete Extrapolationen zu missbrauchen. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, hat sich 1996 eine internationale Arbeitsgemeinschaft um die Vereinheitlichung der Messung sowie der physiologischen Interpretation und der klinischen Verwendung bemüht (Task Force, 1996).

In den folgenden Unterkapiteln werden zuerst die zeitbasierten und dann die frequenzbasierten Methoden dargestellt. Anschliessend wird ein kurzer Überblick über die nicht-linearen Methoden gegeben.

3.2.1 Zeitbereichsparameter

Bei den zeitbasierten Analysen werden sowohl die HR als auch die RR-Intervalle anhand der QRS-Komplexe zu jedem Zeitpunkt in der Zeitreihe bestimmt. Von den RR-Intervallen werden weitere Zeitbereichsparameter abgeleitet, welche abbilden, wie stark die aufeinanderfolgenden RR-Intervalle voneinander abweichen. Die am häufigsten verwendeten Zeitbereichsparameter sind der Mittelwert der RR-Intervalle (*meanRR*), die Standardabweichung der RR-Intervalle im beobachteten Zeitraum (engl. *standard deviation of successive RR-Intervals*; SDNN) sowie die Wurzel des Mittelwerts der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle im beobachteten Zeitraum (engl. *root mean square of successive differences*; RMSSD). Alle Masse werden in Millisekunden angegeben (Task Force, 1996). Neben diesen Massen werden auch häufig die relativen Abweichungen vom Mittelwert der HR in bpm angegeben (ΔHR). Tabelle 5 gibt einen Überblick über die in der Literatur am häufigsten verwendeten HRV-Parameter.

3.2.2 Frequenzbereichsparameter

Eine weitere Analysemöglichkeit ist die Frequenzbandanalyse, auch Spektralanalyse genannt. Mit dieser Technik wird die Varianz (engl. *power*) in verschiedene Frequenzbereiche unterteilt. Bei der Frequenzbandanalyse wird die Zeitreihe von RR-Intervallen mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation in das Frequenzspektrum transformiert. Das Frequenzspektrum wird dadurch in seine Grundfrequenzen zerlegt und kann anschliessend in den unterschiedlichen Frequenzbereichen dargestellt werden (Billman, 2011; Shaffer et al., 2014), wie in Abbildung 6 ersichtlich ist. Durch die Auftrennung des Gesamtsignals kann die Power der unterschiedlichen Frequenzen oder auch die Gesamtpower (engl. *power spectral density*, PSD) berechnet werden. Die Frequenzbandanalyse liefert grundlegende Informationen darüber, wie sich die Power über die Frequenzen hinweg verteilt. Üblicherweise werden drei

Frequenzbänder, die in Tabelle 5 dargestellt sind, unterscheiden: (1) das sehr tiefe Frequenzband (VLF; engl. *very-low-frequency*) mit einem Spektrum von 0.00 bis 0.04 Hz/ms, (2) das tiefe Frequenzband (LF; engl. *low-frequency*) mit einem Spektrum von 0.04 bis 0.15 Hz/ms und (3) das hohe Frequenzband (HF; engl. *high-frequency*) mit einem Spektrum von 0.15 bis 0.40 Hz/ms (Task Force, 1996).

Tabelle 5
Übersicht der am häufigsten verwendeten Zeit- und Frequenzbereichsparameter

Parameter	Beschreibung	Masseinheit
<i>Zeitbereichsparameter</i>		
mean RR	Mittelwert der RR-Intervalle	ms
SDNN	Standardabweichung der aufeinanderfolgenden RR-Intervalle	ms
RMSSD	Quadratische Wurzel des Mittelwerts der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle	ms
<i>Frequenzbereichsparameter</i>		
VLF _{nu}	Sehr tiefes Frequenzband (≤ 0.04 Hz)	n.u.
LF _{nu}	Tiefes Frequenzband (0.04 Hz bis 0.15 Hz)	n.u.
HF _{nu}	Hohes Frequenzband (0.15 Hz bis 0.4 Hz)	n.u.
LF/HF	Verhältnis von LF zu HF	n.u.

Bemerkung: n.u. = normalisierte Einheiten (engl. *normalized units*)

Da die VLF bei Kurzzeitmessungen¹¹ keine verlässlichen Werte liefert (Task Force, 1996), wird dieses Frequenzband in der vorliegenden Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Die Power der LF und der HF wird häufig in absoluten Powerwerten (ms^2) angegeben. Die absoluten Powerwerte sind jedoch anfällig für Verzerrungen, die aufgrund grosser Varianzen zwischen Personen oder grosser Altersunterschiede entstehen können. Die Power der LF und der HF können auch in normalisierten Werten (n.u.; engl. *normalized units*¹²) angegeben werden. Diese sind weniger anfällig für Verzerrungen (Task Force, 1996) und werden dadurch weniger konfundiert (Montano et al., 1994), wodurch sie einen direkten Vergleich zwischen Studien erlauben (Heathers, 2014).

Der Vorteil der Frequenzbandanalyse ist - im Vergleich zur Zeitbereichsanalyse -, dass sie Informationen zur Frequenz und zur Amplitude des spezifischen Rhythmus liefert, welche in den Schwankungen der Wellenform der HRV enthalten sind. Damit können verschiedene

¹¹ meistens 2-5 Minuten, aber immer $<24\text{h}$

¹² Normalisierte Werte (n.u.) repräsentieren den relativen Anteil der LF respektive der HF an der Gesamt-Power abzüglich der VLF.

oszillatorische Modulationen der HRV untersucht werden (Shaffer et al., 2014). Da die Einflüsse von Sympathikus und Parasympathikus auf das Herz unterschiedliche zeitliche Charakteristika aufweisen, wurde zudem versucht, die frequenzbasierten Masse den jeweiligen autonomen Einflüssen zuzuordnen. Gemäss Task Force (1996) wird die HF-Komponente mit parasympathischer Aktivität in Verbindung gebracht, wobei eine Aktivierung des Parasympathikus zu einem Anstieg der HF-Power führt (Reyes del Paso, Langewitz, Mulder, Van Roon & Duschek, 2013).

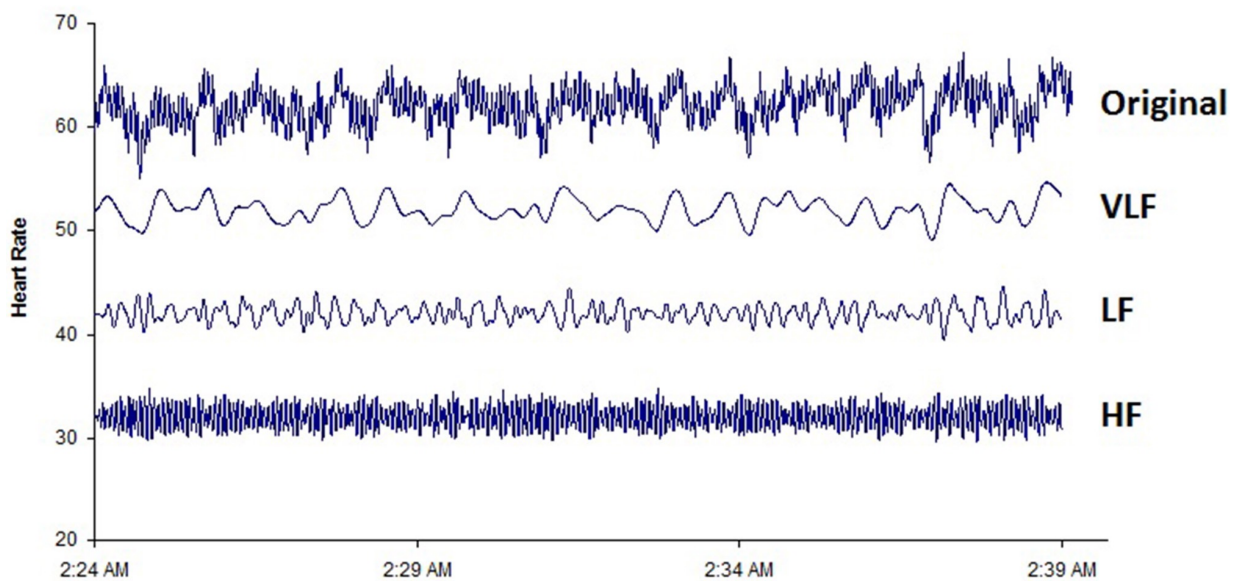


Abbildung 6. Die Zerlegung des Originalsignals in die verschiedenen Frequenzen. Aus: Shaffer et al. (2014).
Bemerkung: VLF = sehr tiefes Frequenzband (engl. very low frequency); LF = tiefes Frequenzband (engl. low frequency), HF = hohes Frequenzband (engl. high frequency); Heart Rate = Herzrate in bpm.

Die LF-Komponente kann im Gegensatz zur HF-Komponente nicht eindeutig sympathischer oder parasympathischer Aktivität zugeordnet werden. Zwar gibt es Studien, die Veränderungen der Sympathikusaktivität mit Veränderungen der LF-Power in Verbindung bringen konnten (Goldstein, Benth, Park & Sharabi, 2011; Stauss, 2003). Dies ist jedoch sehr umstritten und wird nach wie vor debattiert (u.a. Billman, 2011, 2013; Heathers, 2014; Reyes del Paso et al., 2013; Task Force, 1996). Das Verhältnis von LF und HF (LF/HF) wird häufig als Mass für die sympathovagale Balance interpretiert, wobei höhere LF/HF-Werte als eine im Verhältnis stärkere sympathische Aktivität interpretiert werden. Die Aussagekraft dieses Masses ist aber ebenfalls Gegenstand von Diskussionen, da wie bei der LF-Power widersprüchliche Befunde vorliegen (Heathers, 2014; Reyes del Paso et al., 2013).

Ebenfalls zu den Frequenzbereichsparametern gezählt wird die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA). Die RSA beschreibt jene Veränderungen der HR, die durch die Koppelung von Herz- und Atmungsaktivität zustande kommen. Während der Einatmung ist

der parasympathische Einfluss reduziert, was zu einem Anstieg der HR führt. Beim Ausatmen passiert das Gegenteil (Berntson, Cacioppo & Grossman, 2007; Massaro & Pecchia, 2016). Die RSA wird häufig als Index für die phasische vagale Kontrolle des Herzens verwendet (Berntson et al., 2007). Bei kontrollierter Atmung weist die RSA-Amplitude eine hohe intraindividuelle Korrelation mit Variationen der tonischen vagalen Kontrolle des Herzens und liefert möglicherweise einen validen autonomen Index für die Veränderungen der vagalen Aktivität (Overbeek, Van Boxtel & Westerink, 2014). In Studien zum Zusammenhang von RSA und kognitiv fordernden Aufgaben konnte gezeigt werden, dass die RSA während der Bearbeitung komplexer Aufgaben unterdrückt wird (u.a. Althaus, Mulder, Mulder, Van Roon, & Minderaa, 1998; De Rivecourt, Kuperus, Post, & Mulder, 2008; L. J. Mulder, 1992). Eine Schwierigkeit bei der Interpretation der RSA ist jedoch, dass eine Beeinflussung durch nicht-kognitive Faktoren wie leichte Bewegungen wahrscheinlich ist. So sind bei vielen Aufgaben, die sowohl sprachlich als auch nicht sprachlich sind, kleine motorische Reaktionen involviert, die zu Verzerrungen der RSA führen (z.B. Berntson, Cacioppo & Quigley, 1993; Duschek, Muckenthaler, Werner & del Paso, 2009).

3.2.3 Nicht-lineare Ansätze

Neben den Zeit- und Frequenzbereichsanalysen können auch nicht-lineare Methoden für die Analyse der HR und der HRV zur Anwendung kommen. Zu den nicht-linearen Massen gehört der Poincaré-Plot. Dabei wird die RR-Zeitreihe in einer zweidimensionalen Punktwolke dargestellt, sodass sich jeder Messwert auf den vorhergehenden Messwert bezieht. Zur Interpretation wird die Form der Punktwolke herangezogen, die beispielsweise Komet- oder Torpedo-ähnlich sein kann (Esperer, Esperer & Cohen, 2008).

Der Hauptvorteil der nicht-linearen Methoden liegt in der relativen Unempfindlichkeit gegenüber der Aufzeichnungsqualität der RR-Intervalle (Malik et al., 1993). Zurzeit wird hauptsächlich an der Entwicklung solcher komplexer dynamischer Methoden gearbeitet (Voss, Schulz, Schroeder, Baumert & Caminal, 2009). Die nicht-linearen Methoden konnten sich jedoch bis heute nicht durchsetzen, da Standards für die Anwendung fehlen (Mukherjee et al., 2011; Task Force, 1996). Der Hauptnachteil liegt in der grossen Anzahl an RR-Intervallen, die für die zu untersuchenden geometrischen Muster benötigt werden. Um eine korrekte Funktionsweise dieser Methoden zu garantieren, sollten die Aufzeichnungen mindestens 20 Minuten dauern, idealerweise jedoch sogar 24 Stunden. Zudem scheinen diese Methoden zu wenig sensitiv zu sein, um RR-Schwankungen differenziert abzubilden (Task

Force, 1996). Daher werden nicht-lineare Methoden für die vorliegende Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

3.2.4 Der Einfluss von Hirnverletzungen auf die Herzratenvariabilität

Die dargestellten verschiedenen Methoden, die HR und die HRV zu analysieren, ermöglichen auch Einblicke in das Zusammenspiel autonomer, kognitiver und emotionaler Prozesse. Da an all diesen Prozessen weitgehend dieselben netzwerkartig verbundenen kortikalen und subkortikalen Strukturen beteiligt sind, ist es naheliegend, dass als Folge von Hirnverletzungen nicht nur Beeinträchtigungen kognitiver Funktionen objektiviert werden können, sondern häufig auch eine autonome Dysregulation beobachtet werden kann (Dorrance & Fink, 2015; King, Lichtman, Seliger, Ehert & Steinberg, 1997). Dies kann sich entsprechend in Veränderungen der HR- und der HRV-Parameter zeigen.

Für Veränderungen der HR und der HRV, die durch Hirnverletzungen zustande kommen (King et al., 1997), kann das CAN als zentralnervöses Netzwerk, das massgeblich an der Regulation der Herztätigkeit beteiligt ist (Benarroch, 1993; Palma & Benarroch, 2014), als Erklärungsmodell verwendet werden. Dementsprechend ist zu erwarten, dass Läsionen der beteiligten Strukturen zu Veränderungen der sympathovagalen Balance führen und als Veränderungen der HR und der HRV messbar sind (Keren et al., 2005; Orlandi et al., 2000; Sörös & Hachinski, 2012). Tabelle 6 bietet einen Überblick über das Auftreten von Veränderungen in der HR und der HRV sowie von weiteren Markern der autonomen Aktivität wie Blutdruck, Adrenalin- und Noradrenalin Spiegel bei verschiedenen Läsionsarten und Läsionslokalisationen (Dorrance & Fink, 2015). Ebenfalls wurden Studien einbezogen, bei denen bestimmte Hirnregionen stimuliert wurden, um den Zusammenhang zwischen Veränderungen von autonomen Funktionen und diesen Regionen zu erforschen. Die Mehrheit der Studien zeigt bei neurologischen Patienten im Unterschied zu gesunden Kontrollprobanden einen Anstieg der HR und eine Abnahme der HRV (u.a. Ahern et al., 2001; Meyer, Strittmatter, Fischer, Georg & Schmitz, 2004). Eine erhöhte autonome Aktivierung kann durch eine Zunahme der sympathischen und/oder eine Abnahme der parasympathischen Aktivierung zustande kommen (Dorrance & Fink, 2015).

Es wird jedoch kontrovers diskutiert, ob spezifische Veränderungen der autonomen Aktivierung von der Hemisphäre abhängen. Grundsätzlich gibt es viele Hinweise, die dafür sprechen, die sympathische Aktivierung mit der rechten und die parasympathische mit der linken Hemisphäre in Verbindung zu bringen (für eine Übersicht siehe Craig, 2005). Viele Arbeiten konnten eine Zunahme der autonomen Aktivierung, d.h. eine Zunahme der

sympathischen und/oder eine Abnahme der parasympathischen Aktivität, bei rechtshemisphärischen, insbesondere insulären Läsionen feststellen, jedoch nicht bei linkshemisphärischen Läsionen (Meyer et al., 2004; Strittmatter, Meyer, Fischer, Georg & Schmitz, 2003; U. Walter et al., 2013). Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass der rechte insuläre Kortex primär an der sympathischen und der linke insuläre Kortex an der parasympathischen Regulation beteiligt ist (Hachinski, Oppenheimer, Wilson, Guiraudon & Cechetto, 1992; Oppenheimer, 2007; Oppenheimer, Gelb, Girvin & Hachinski, 1992; Oppenheimer, Kedem & Martin, 1996). In weiteren Arbeiten wird nicht konkret Stellung dazu bezogen, ob eine Abnahme der sympathischen oder eine Zunahme der parasympathischen Aktivierung zum Anstieg der autonomen Aktivität bei rechtshemisphärischen Läsionen führt (Meyer et al., 2004). Dem wiederum widersprechend legen andere Studien nahe, dass der rechtshemisphärische insuläre Kortex bei der parasympathischen autonomen Kontrolle eine Rolle spielt (de Morree, Rutten, Szabó, Sitskoorn & Kop, 2016; Lane, Wallace, Petrosky, Schwartz & Gradman, 1992). Wieder andere Studien konnten zwischen rechts- und linkshemisphärischen Läsionen keine Unterschiede bezüglich der autonomen Regulation finden (Jokeit, Noerpel, Herbold & Ebner, 2000; Xu, Wang, Yang, Zhou & Pan, 2016).

Neben Veränderungen der autonomen Regulation kommt es bei Hirnverletzungen sehr häufig zu Beeinträchtigungen kognitiver Funktionen (Jokinen-Salmela et al., 2015; Schretlen & Shapiro, 2003). Das Modell der neuroviszeralen Integration bringt die Strukturen des CAN neben autonomen Kontrollprozessen auch mit affektiven und kognitiven Prozessen in Verbindung (Thayer et al., 2012, 2009; Thayer & Lane, 2000). Es legt einen direkten Zusammenhang zwischen den Veränderungen der HR sowie der HRV und den kognitiven Funktionen nahe. Der Zusammenhang zwischen Veränderungen der autonomen Regulation und kognitiven Funktionen wurde jedoch bei neurologischen Patienten, soweit der Autorin bekannt, bisher nicht eingehend untersucht. Untersucht wurden, wie in Tabelle 6 dargestellt, entweder der Zusammenhang zwischen Hirnverletzungen und autonomen Veränderungen oder der Zusammenhang zwischen Hirnverletzungen und kognitiven Einbussen (Jokinen-Salmela et al., 2015; Schretlen & Shapiro, 2003). Ein Zusammenhang zwischen der Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben und Veränderungen der HR und der HRV konnte bereits in vielen Studien für gesunde Personen gezeigt werden (Cacioppo, 1977; Henelius et al., 2009; Jorna, 1992; Luft, Takase & Darby, 2009; Mukherjee et al., 2011; Nguyen & Zeng, 2014; Segerstrom & Nes, 2007; Stewart et al., 2009; Stuiver et al., 2012; Van Roon et al., 2004; Venables & Fairclough, 2009). Vor diesem Hintergrund ist die Frage, ob sich bei

neurologischen Patienten während der Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben vergleichbare Veränderungen der HR und der HRV zeigen lassen wie bei gesunden Probanden, was für die Klinik wie die Forschung gleichermassen von Interesse ist.

Tabelle 6

Faktoren bei Hirnverletzungen, die die HR und die HRV sowie das autonome Nervensystem beeinflussen.

Autor	Struktur	Einflussfaktor	Lateralisierung	n	Masseinheit	Autonome Veränderung	Kommentar
Ahern et al. (2001)	Präfrontalkortex	ISA	R / L	R: 38 L: 35	HR, HRV	R ISA: HR↑, LF/HF↑ L ISA: HR↑, LF/HF↑	Geschlechtsunterschiede: Vagale kardiale Kontrolle ist bei Frauen höher als bei Männern
Critchley et al. (2003)	ACC	Läsion	-	3	HR, BD, HRV	Veränderungen von SY	Nur 3 Probanden
Oppenheimer et al. (1992)	Insulärer Cortex	Stimulation	R / L	R: 3 L: 2	HR, BD	R: HR↑, BD↑ L: HR↓, BD↓	-
Sander & Klinghöfer (1995)	Diverse; Insulärer Cortex	Schlaganfall	R / L	R: 15 (6 insulär) L: 20 (9 insulär)	BD, BPV, NE	RI, LI: BPV↓, NAdr↑	Durchschnittsalter: 66 Jahre
Oppenheimer et al. (1996)	Insulärer Cortex	Läsion	L	L: 7	HR, HRV	L: HR↑, SY↑	-
Tokgözüglü et al. (1999)	Diverse; Insulärer Cortex	Schlaganfall	R / L	R: 30; 23 insulär L: 32 (25 insulär)	HR, HRV	R, L: SDNN↓, LF↓, HF↓, LF/HF↑	R: tiefere HF, LF als L RI: tiefste SDNN, HF, LF
Colivicchi et al. (2004)	Diverse; Insulärer Cortex	Schlaganfall	R / L	R: 49 (33 insulär) L: 54 (36 insulär)	HR, HRV	R, L, RI, LI: SDNN↓, RMSSD↓, HF↓, LF↓, LF/HF↑	RI: Tiefere SDNN, RMSSD und höhere LF/HF als R, L, LI Altersdurchschnitt: 69.2 Jahre
Meyer et al. (2004)	Diverse; Insulärer Cortex	Schlaganfall	R / L	R: 14 (5 insulär) L: 15 (4 insulär)	HR, BD, E, NE	RI, LI: BD↑, HR↑, A↑, NAdr↑	Höhere Aktivierung bei RI als bei LI Schlaganfall
Macey et al. (2012)	Insulärer Cortex	Test autonomer Funktionen	R / L	57	fMRI	RI: SY↑	-

Fortsetzung Tabelle 6

Autor	Struktur	Einflussfaktor	Lateralisierung	n	Masseinheit	Autonome Veränderung	Kommentar
Walter et al. (2013)	Insulärer Cortex	Schlaganfall	R / L	Insulär: 56 Non insulär: 114	HRV	-	RI: tiefere SDNN als LI Mittleres Alter: 70.4 Jahre
De Moree et al. (2016)	Insulärer Cortex	Tumoresektion	R / L	R: 1 L: 1	HRV	R: HF↑	Nur zwei Probanden
Inamasu et al. (2013)	MCA	Rupturiertes MCA Aneurisma	R / L	R: 22 RTH: 25 L: 15 LTH: 17	BD, HR, E, NE	LTH: BP↓, NAdr↓	BD: Unterschiede im systolischen BD. Altersdurchschnitt: 66.5 Jahre
Ronkainen et al. (2005)	Diverse; Amygdala	TLE	-	37	HRV	SDNN↓, HF↓, LF↓	-
Chiou et al. (2009)	Amygdala	Stimulation	R / L	31 Ratten	BD, HR	R, L: BD↑ CeA: HR↑	Tierstudie
Meglic et al. (2001)	Hirnstamm	Schlaganfall	BS	mBS: 6 n-mBS: 8	HRV, A, NAdr	mBS: LF↓, HF↓, RR↓ n-mBS: A↑, RR↓	mBS: kürzere RR-Intervalle als n-mBS
Strittmatter et al. (2003)	Diverse	Schlaganfall	R / L / BS	R: 14 L: 19 BS: 6	HR, BD, A, NAdr	R: A↑, NAdr↑, HR↑, BD↑ L: NAdr↑, BD↑ BS: A↑, BD↑	R: Höherer A-Spiegel und BD als L und BS
Keren et al. (2005)	Diverse	SHT	-	20	HRV	SDNN↓, HF↓, LF↓	Die zweite Analyse zeigte bei Patienten ↑ Werte als die erste, aber tiefere als bei Kontrollprobanden.

Fortsetzung Tabelle 6

Autor	Struktur	Einflussfaktor	Lateralisierung	n	Masseinheit	Autonome Veränderung	Kommentar
Chen et al. (2013)	Diverse	Schlaganfall	R / L / BS	R: 28 L: 29 BS: 18	HRV	L: LF(nu)↑, HF(nu)↓, LF/HF↑ BS: LF↓, HF↓, HF(nu)↓, LF/HF↓	-
Xiong et al. (2013)	Diverse	Schlaganfall	-	94	HRV	LF↓, HF↓	Altersdurchschnitt: 69.3 Jahre
Xu et al. (2016)	Diverse	Schlaganfall	R / L	R: 28 L: 35	HRV	R: SDNN↓ L: SDNN↓	Keine Unterschiede zwischen R, L Altersdurchschnitt: 71 Jahre

Bemerkung: ↑ = Zunahme; ↓ = Abnahme; BD = Blutdruck; BDV = Blutdruckvariabilität; BS = Hirnstamm (engl. *brainstem*); CeA = zentraler Kern der Amygdala (engl. *central nucleus of the amygdala*); A = Adrenalin; HR = Herzrate; HRV = Herzratenvariabilität; HF = Hohe Frequenz (engl. *high frequency*); ISA = Intrakarotide Sodium Amytal Injektion; L = links; LF = Tiefe Frequenz (engl. *low frequency*); LI = linke Insula; LTH = links temporales Hämatom; mBS = medullärer Hirnstamm; MCA = Arteria cerebri media; n-mBS = nicht medullärer Hirnstamm; NAdr = Noradrenalin; nu = Normalisierte Einheit (engl. *normalized unit*); R = rechts, RI = rechts insulär; RMSSD = Wurzel des Mittelwerts der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle (engl. *root mean square of successive differences*); RTH = rechts temporales Hämatom; SDNN = Standardabweichung der RR-Intervalle (engl. *standard deviation of successive RR-Intervals*); SY = sympathische Aktivierung; SHT = Schädel-Hirn-Trauma; TLE = Temporallappenepilepsie.

3.2.5 Herzrate und Herzratenvariabilität: Zusammenfassung und Kritik

Die HR- und HRV-Messungen erleben sowohl in der humanwissenschaftlichen Forschung als auch im Leistungs- und Freizeitsport sowie in der Gesundheitsprophylaxe einen regelrechten Aufschwung. Jedes Jahr wird eine Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten zum Thema HR und HRV publiziert. Dank moderner Technologien wie Smartwatches, Pulsuhren oder T-Shirts mit integrierten Textilelektroden ist die Aufzeichnung der HR sehr einfach (Reyes del Paso et al., 2013). Durch ihre weite Verbreitung in der Gesellschaft steigt zudem die Akzeptanz. Dank der Leitlinien zu Messstandards, physiologischer Interpretation und klinischem Einsatz, die durch die Task Force 1996 veröffentlicht wurden, ist die Verwendung der Analysemethoden und Bezeichnungen zudem standardisiert.

Dennoch gibt es einige Punkte, die bei der Analyse der HR und der HRV beachtet werden müssen. Ein erster zentraler Punkt ist, dass viele Studien die Veränderungen der HR und der HRV durch Mittelwertsveränderungen untersuchen zum Beispiel zwischen kognitiv fordernden Aufgaben und einer Ruhebedingung. Dabei besteht bei den meisten verwendeten Analysemethoden die Gefahr, dass nicht die gesamte Dynamik der neurophysiologischen Veränderungen erfasst werden kann, denn die Bearbeitung neuropsychologischer Testaufgaben erfordert eine komplexe Interaktion mit sich schnell verändernden internalen und externalen Anforderungen, die sich auch während der Bearbeitung einer Aufgabe verändern können. Um dieser Dynamik gerecht zu werden, könnte ein von Golland et al. (2014) vorgeschlagener Ansatz interessant sein. Golland et al. (2014) betrachten die autonome Regulation nicht anhand der mittleren Veränderung der HR zwischen zwei oder mehreren Zeitpunkten, sondern es wird der kontinuierliche Verlauf der HR über die ganze Dauer berücksichtigt. Dadurch kann auch der zeitliche Aspekt der physiologischen Veränderungen einbezogen werden (Golland et al., 2014). Zwar beziehen sich Golland und Kollegen (2014) auf emotionale Prozesse. Ihre Herangehensweise scheint aber angesichts der vorliegenden Ergebnisse auch für kognitiv fordernde Aufgaben vielversprechend zu sein. Die Analyse der dynamischen Veränderung der HR während der gesamten Dauer einer Aufgabe ermöglicht zudem einen neuen Zugang zur Interpretation der HR und der HRV. Die Gefahr der Verzerrung der Daten durch mathematische Transformationen der HR für die Berechnung diverser HRV-Parameter und daraus resultierende Fehlinterpretationen der Befunde (Reyes del Paso et al., 2013) können zudem verhindert werden, da keine mathematischen Transformationen notwendig sind.

Basierend auf diesen Überlegungen wird in der vorliegenden Studie eine neue Analyse­methode für die Untersuchung autonomer Reaktionen im Zusammenhang mit kognitiven Anforderungen präsentiert, die sich an den Analysen von Golland et al. (2014) orientiert. Diese Methode wurde, soweit der Autorin bekannt, bisher weder für emotionale noch für kognitive Prozesse in dieser Form angewendet. Da nicht die absolute Veränderung betrachtet wird, sondern der Verlauf der HR, könnten möglicherweise zudem beeinflussende Faktoren wie Alter, Fitness (Massaro & Pecchia, 2016) oder Medikamente (Acharya, Joseph, Kannathal, Lim & Suri, 2006) minimiert werden.

3.3 Die Herzratenvariabilität als Indikator für das Leistungsverhalten

Viele Studien bestätigen einen Zusammenhang zwischen der Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben und Veränderungen der HR und der HRV (Cacioppo, 1977; Henelius et al., 2009; Jorna, 1992; Luft et al., 2009; Mukherjee et al., 2011; Nguyen & Zeng, 2014; Segerstrom & Nes, 2007; Stewart et al., 2009; Stuiver et al., 2012; Van Roon et al., 2004; Venables & Fairclough, 2009). So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass steigende Anforderungen in einer Inhibitionsaufgabe und in einer Arbeitsgedächtnisaufgabe zu einer grösseren Veränderung der HRV führten (Byrd, Reuther, McNamara, DeLucca & Berg, 2015).

Die HR und die HRV gehören zu den physiologischen Parametern, die im Zusammenhang mit der Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben am häufigsten verwendet werden. Ein grosser Vorteil dieser Parameter besteht darin, dass sie unkompliziert und nicht invasiv aufgezeichnet werden können. Weiter interferiert die Aufzeichnung nicht mit gleichzeitig ausgeübten Tätigkeiten (Grandt, 2004) und sie ist wenig anfällig für Artefakte, die zum Beispiel durch Bewegung entstehen (Ribback, 2003). In den letzten ungefähr 15 Jahren wurden zudem für die Erfassung der HR und der HRV viele kostengünstige und benutzerfreundliche Messgeräte entwickelt, wodurch die HR auch im klinischen Alltag zu einer wichtigen Informationsquelle geworden ist (Lederhuber & Lange, 2005).

Studien konnten nicht nur den Zusammenhang zwischen den HR- und den HRV-Parametern zeigen, sondern auch eine grössere Abnahme der HRV während der Bearbeitung von Aufgaben mit steigenden kognitiven Anforderungen (Byrd et al., 2015; Overbeek et al., 2014). Diese Studien, die den Zusammenhang zwischen kognitiven Funktionen und der HR sowie der HRV untersuchten, verwendeten oftmals Aufgaben, die die gleichen kognitiven Prozesse beanspruchen (Luft et al., 2009; Massaro & Pecchia, 2016; Stuiver et al., 2012), oder sogar identische Aufgaben (Adan & Sanchez-Turet, 1996; Duschek et al., 2009).

Aufgrund dieser Ergebnisse und zusätzlich des Befundes, dass kognitiv nicht fordernde Aufgaben zu keinen spezifischen Veränderungen der HR und der HRV führen (Hugdahl et al., 2000), ist ein Zusammenhang mit dem Leistungsverhalten im Rahmen von neuropsychologischen Untersuchungen naheliegend. Während einer neuropsychologischen Untersuchung wird dem Exploranden eine Vielzahl von Aufgaben mit unterschiedlichen kognitiven Anforderungen gestellt. Idealerweise versucht der Explorand, die Aufgaben so gut wie möglich zu bearbeiten. Dafür muss er sich immer wieder an neue Anforderungen anpassen, wodurch es nach dem Modell der neuroviszeralen Integration zu Veränderungen der autonomen Aktivität und folglich der HR und der HRV kommt (Smith et al., 2017; Thayer et al., 2012, 2009).

Bei Exploranden, die nicht ihre bestmögliche Leistung zeigen, sondern simulierendes oder aggravierendes Verhalten, ist zu erwarten, dass keine oder nur eine geringe Veränderung der autonomen Aktivität eintritt, sodass es zu keinen spezifischen Veränderungen der HR und der HRV kommt. Dass es zu einer Veränderung des kardiovaskulären Systems in Abhängigkeit des Leistungsverhaltens kommt, konnte Obrist (1981) bereits zeigen. So führen steigende Aufgabenanforderungen beim Exploranden zu stärkeren Veränderungen des kardiovaskulären Systems. Dies sei aber nur der Fall, wenn der Explorand die Aufgabe aktiv zu bewältigen versuche. Diese aktive Bewältigung wird als Active Coping bezeichnet und führt zu hinreichendem Leistungsverhalten. Bewältigt der Explorand die Aufgabe nicht aktiv, kann dies als Non-Coping bezeichnet werden und zeigt sich als selbstlimitierendes Leistungsverhalten. Bei Non-Coping kommt es nach Obrist demnach nicht zu aufgabenspezifischen Veränderungen des kardiovaskulären Systems und demnach auch nicht zu Veränderungen der HR und HRV.

Die Aufzeichnung der HR und der HRV während der gesamten Dauer einer neuropsychologischen Untersuchung ermöglicht es, den Zusammenhang zwischen Veränderungen der autonomen Aktivität und der aktiven Aufgabenbearbeitung von Aufgaben mit unterschiedlich hohen kognitiven Anforderungen zu untersuchen. Dadurch entsteht ein objektiver Zugang zum Leistungsverhalten von Exploranden während neuropsychologischer Untersuchungen, der sich nicht auf Selbstberichte oder Testleistungen stützt, sondern auf objektiv hochdynamische psychophysiologische Prozesse.

Ein solcher neuropsychophysiologischer Zugang erlaubt es, im Optimalfall Rückschlüsse auf das Leistungsverhalten des Exploranden zu ziehen. Unter der Voraussetzung, dass das Leistungsverhalten des Exploranden beurteilt werden kann, können Aussagen zur Validität der Testleistungen getätigt werden, indem man die Testleistungen

unter der Annahme von hinreichendem Leistungsverhalten und somit Active Coping als valide beurteilt, oder unter der Annahme von Non-Coping als nicht valide beurteilt. Die Identifikation der Minderleistung, die mit nicht hinreichendem Leistungsverhalten erzielt wird, kann dadurch identifiziert werden, wodurch die Validität von Testleistungen verbessert wird. Die Machbarkeit eines solchen Ansatzes soll in der folgenden Studie untersucht werden. Nach Kenntnis der Autorin gibt es bisher jedoch keine Studien, die versuchen, die HR und die HRV als Informationsquellen für Aussagen über das Leistungsverhalten von Exploranden im Rahmen von neuropsychologischen Untersuchungen heranzuziehen.

II Empirischer Teil: Monitoring mentaler Anstrengung während einer neuropsychologischen Untersuchung

4 Fragestellungen und Hypothesen

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Entwicklung eines Verfahrens, das das Leistungsverhalten über die gesamte Untersuchungsdauer erfasst und somit Aufschluss über die Mitarbeit des Exploranden während der gesamten Untersuchungsdauer gibt. Angestrebt wird ein Verfahren, welches sich ohne Störfunktion in die neuropsychologische Untersuchung integrieren lässt und dessen Ergebnisse weder vom Untersuchenden noch vom Exploranden direkt beeinflusst werden können. Durch ein solches Verfahren besteht die Möglichkeit, Schwierigkeiten der Interpretation von Minderleistungen, wie sie in der neuropsychologischen Beurteilung und Interpretation von Testleistungen aktuell bestehen, auszuräumen.

Zahlreiche Studien legen einen Zusammenhang zwischen der aktiven Aufgabebearbeitung und psychophysiologischen Messwerten nahe (Cacioppo, 1977; Henelius et al., 2009; Jorna, 1992; Mukherjee et al., 2011; Stewart et al., 2009; Stuiver et al., 2012; Van Roon et al., 2004). Eine umfassende Studie von Mukherjee et al. (2011) hat ergeben, dass HR und HRV als reliable und sensitive Indikatoren für die aktive Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben gesehen werden können. Als Indizes für ein solches hinreichendes Leistungsverhalten während der Aufgabebearbeitung und über die ganze neuropsychologische Untersuchung hinweg bieten sich die HR und die HRV an (Jorna, 1992; Van Roon et al., 2004).

Die hier vertretene Annahme ist, dass mittels dieser Methode ein psychophysiologisches Monitoring des Leistungsverhaltens möglich wird. Dadurch könnten im Wissen aller Beteiligten und zu jedem Zeitpunkt der neuropsychologischen Untersuchung Informationen über das Leistungsverhalten abgebildet werden. Die Herausforderung und die Chance liegen dabei insbesondere darin, selbstlimitierendes Leistungsverhalten bei Exploranden zu entdecken, bei denen die Befundlage bis anhin unklar oder widersprüchlich war.

Vor allem im Rahmen von Begutachtungen im forensischen oder zivil-, sozial- und verwaltungsrechtlichen Kontext kann eine Diagnose mit externen Vergünstigungen, wie im Kapitel 1 beschrieben, verknüpft sein. Das kann dazu führen, dass der Explorand aufgrund finanzieller und sozialer Anreize Beschwerden in übertriebenem Masse präsentiert oder vortäuscht. Dies zeigt sich im Rahmen einer neuropsychologischen Untersuchung in Form von reduzierten Testleistungen, die jedoch nicht durch authentische Leistungseinbußen

zustande kommen, sondern durch selbstlimitierendes Verhalten. Um sicherzustellen, dass die gezeigten Minderleistungen authentisch sind, werden LVT eingesetzt. Die bisher eingesetzten Verfahren zur Leistungsvalidierung sind jedoch ungenügend, da sie teilweise durchschaubar sind. Wenn der Zweck der Verfahren für Laien schnell erkennbar ist, sind die Testergebnisse anfällig für Manipulationen (F. Walter, 2011).

Eine reliable, objektive Beurteilung des Leistungsverhaltens eines Exploranden hingegen könnte eine verbesserte medizinische und gleichzeitig juristisch belastbare Einschätzung der kognitiven Leistungsfähigkeit des Exploranden ermöglichen. Im Gegensatz zu herkömmlichen LVT kann eine Beurteilung des Leistungsverhaltens mittels HR und HRV im Wissen aller Beteiligten stattfinden. Da mit der Aufzeichnung der HR die Veränderungen der autonomen Aktivität erfasst werden sollen, die sich mehrheitlich einer direkten Kontrolle entziehen, minimiert der psychophysiologische Zugang die Gefahr der Verfälschung der Testresultate.

Neuropsychologische Testverfahren haben zum Ziel, die individuellen Leistungsgrenzen umschriebener kognitiver Funktionen zu erfassen und allfällige Beeinträchtigungen zu objektivieren. Der Einfluss mangelnder Motivation zur aktiven Aufgabenbearbeitung auf die Testergebnisse ist nicht zu unterschätzen. So können Testleistungen stärker durch die fehlende Motivation zur aktiven Mitarbeit beeinflusst sein als durch das Vorliegen einer traumatischen Hirnverletzung (Green et al., 2001). Es ist demnach anzunehmen, dass Probanden, die instruiert werden, nicht ihre bestmögliche Leistung zu zeigen (*Non-Coping, NC*), schlechtere Testleistungen erbringen als Probanden, die instruiert werden, ihre bestmögliche Leistung zu zeigen (*Active Coping, AC*). Des Weiteren ist anzunehmen, dass sich die Unterschiede im Leistungsverhalten auch auf psychophysiologischer Ebene widerspiegeln und es nur bei Probanden der AC-Gruppe zu einer aufgabenspezifischen Veränderung der HR und HRV kommt, jedoch nicht bei den Probanden der NC-Gruppe.

Um die Ergebnisse auch für Personen mit einer Hirnverletzung interpretieren zu können, wurde eine dritte Gruppe mit neurologischen Patienten (NP) untersucht. Die Probanden der NP-Gruppe erhielten wie die Probanden der AC-Gruppe die Instruktion, die Aufgaben aktiv zu bearbeiten und ihre bestmögliche Leistung zu zeigen. Unter der Annahme, dass es durch die aktive Aufgabenbearbeitung zu aufgabenspezifischen Veränderungen der HR kommt und sich dies auch für die NP zeigt, können diese im Idealfall auf Basis der Veränderungen der HR der AC-Bedingung zugeordnet werden.

Um diese Fragen zu beantworten, wurden folgende Fragestellungen und Hypothesen abgeleitet:

Fragestellung 1: Gibt es Unterschiede in den Testleistungen zwischen gesunden Probanden, die instruiert wurden, während der ganzen Untersuchung ihre bestmögliche Leistung zu zeigen (Active Coping; AC-Gruppe), und gesunden Probanden, die instruiert wurden, während der gesamten Untersuchung bewusst unter ihrer individuellen Leistungsgrenze zu bleiben (Non-Coping; NC-Gruppe)?

H1: Die Probanden der AC-Gruppe zeigen eine signifikant bessere Testleistung in den neuropsychologischen Testaufgaben als Probanden der NC-Gruppe.

Wenn HR und HRV als reliable und sensitive Indikatoren für die Bearbeitung kognitiv fordernder Aufgaben gesehen werden können, kann angenommen werden, dass sich die experimentelle Modulation des Leistungsverhaltens (AC vs. NC) auch auf diese Masse auswirkt.

Fragestellung 2: Gibt es Unterschiede in den HR- und HRV-Massen während der Bearbeitung neuropsychologischer Testaufgaben zwischen der AC- und NC-Gruppe?

H2a: Probanden der AC-Gruppe weisen eine signifikant höhere Zunahme der HR (ΔHR) während der Bearbeitung von Aufgaben auf, die durch eine hohe Aufgabenschwierigkeit höhere Anforderungen an die kognitiven Prozesse stellen, als Probanden der NC-Gruppe.

H2b: Probanden der AC-Gruppe weisen eine signifikant tiefere HRV während der Bearbeitung von Aufgaben auf, die hohe Anforderungen an kognitive Prozesse stellen, als Probanden der NC-Gruppe. Dies zeigt sich in tieferen Werten der Parameter SDNN, RMSSD, HF_{nu} und in einem höheren LF/HF sowie höheren LF_{nu} -Werten.

Wenn sich gruppenspezifische Unterschiede in HR- oder HRV-Massen nachweisen lassen, kann angenommen werden, dass die experimentelle Manipulation des Leistungsverhaltens zu aufgabenspezifischen Veränderungen der HR führt. Dementsprechend kann angenommen werden, dass sich aus den ΔHR -Zeitreihen der Probanden der AC-Gruppe Faktoren extrahieren lassen, die den Verlauf der ΔHR während der aktiven Aufgabenbearbeitung charakterisieren können. Dies lässt sich mit folgenden Fragen explorativ untersuchen:

Fragestellung 3: Lassen sich bei Aufgaben mit festgelegter Dauer anhand einer Faktoranalyse der Δ SHR-Zeitreihen der Probanden der AC-Gruppe Faktoren extrahieren, die durch die aktive Bearbeitung einer Aufgabe entstehen (AC-spezifische Faktoren)?

Wenn die abgeleiteten Faktoren durch die aktive Bearbeitung einer Aufgabe bedingt sind, kann angenommen werden, dass sich die Δ SHR-Zeitreihen der Probanden der AC-Gruppe von denjenigen der NC-Gruppe systematisch unterscheiden. Dementsprechend sollten die Korrelationen der AC-spezifischen Faktoren mit den Δ SHR-Zeitreihen der Probanden der AC-Gruppe höher ausfallen als mit den Δ SHR-Zeitreihen der NC-Probanden. Folglich kann untersucht werden, ob sich die Probanden anhand dieser Korrelationskoeffizienten ihrer jeweiligen Instruktionsbedingung zuordnen lassen.

Fragestellung 4: Können die Probanden der AC- bzw. der NC-Gruppe anhand der Korrelationskoeffizienten zwischen den individuellen Δ SHR-Zeitreihen und der bei Fragestellung 3 extrahierten AC-spezifischen Faktoren mittels Diskriminanzanalyse korrekt ihrer Instruktionsbedingung zugeordnet werden?

Ist die Klassifizierung der gesunden Probanden zu den jeweiligen Instruktionsbedingungen erfolgreich, bestätigt dies die Annahme, dass die Δ SHR-Zeitreihen bei einer aktiven Bearbeitung einer Aufgabe systematisch anders verlaufen als bei einer nicht aktiven Bearbeitung.

Um die Frage zu beantworten, ob sich diese Systematik auch für neurologische Patienten bestätigen lässt, erhielten alle Probanden der NP-Gruppe die Instruktion, ihre bestmögliche Leistung zu zeigen und die Aufgaben dementsprechend aktiv zu bearbeiten. Folglich sollten sich alle Probanden der NP-Gruppe aufgrund der Korrelationskoeffizienten der jeweiligen Δ SHR-Zeitreihe und der in Fragestellung 3 extrahierten Faktoren der AC-Bedingung zuordnen lassen.

Fragestellung 5: Können Probanden der NP-Gruppe anhand der Korrelationskoeffizienten der AC-spezifischen Faktoren aus Fragestellung 3 korrekt der AC-Bedingung zugeordnet werden?

5 Methoden

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Stichprobe, den Versuchsablauf sowie die im Projekt verwendeten Methoden und Analyseverfahren. Die Studie wurde durch die Ethikkommission des Kantons Zürich bewilligt (KEK-ZH-Nr. 2015-0110).

5.1 Stichprobe

Die Gesamtstichprobe setzt sich aus 98 gesunden Probanden und 39 neurologischen Patienten zusammen. Alle Probanden wurden am Institut für Neuropsychologische Diagnostik und Bildgebung (INDB) der Klinik Lengg und des Schweizerischen Epilepsie-Zentrums in Zürich einer neuropsychologischen Untersuchung unterzogen. Während der neuropsychologischen Untersuchung wurden bei allen Probanden kontinuierlich die Herzrate, die Atmung und die Bewegung aufgezeichnet.

5.1.1 Rekrutierung und Zusammensetzung der Gruppen mit gesunden Probanden

Die 98 gesunden Probanden wurden zwischen dem 1. März 2015 und dem 1. Oktober 2016 über den Probandenserver des Psychologischen Instituts der Universität Zürich und über das Auflegen von Flyern in Gemeinschaftszentren der Stadt Zürich rekrutiert. Alle mussten Deutsch oder Schweizerdeutsch als Muttersprache haben oder über sehr gute Deutschkenntnisse verfügen. War eines der folgenden Kriterien erfüllt, führte dies zum Ausschluss:

- Einnahme von Medikamenten zur Behandlung von Herzrhythmusstörungen oder anderen Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- Einnahme von Medikamenten, die das Herzkreislaufsystem beeinflussen wie Sedativa oder psychoaktive Medikamente
- Bekannte kardiovaskuläre oder neurologische Erkrankungen
- Bekannte Unfälle mit Kopfverletzungen
- Schwere Erkrankung des Gehirns
- Aktueller oder früherer Substanzabusus
- Teilnahme an einer anderen Studie, bei der in den 30 Tagen vor der Teilnahme an dieser Studie Medikamente eingenommen werden mussten
- Konsum von Alkohol und/oder illegalen Substanzen im Verlauf der 24 Stunden vor der Untersuchung

Die neuropsychologischen Untersuchungen fanden zwischen dem 6. März 2015 und dem 24. Oktober 2016 statt. Alle Probanden willigten nach Aufklärung schriftlich ein, an der Studie teilzunehmen, und wurden mit 50 Schweizer Franken für ihren Aufwand entschädigt.

Die Probanden wurden randomisiert entweder der AC-Gruppe, die während der gesamten Untersuchung ihre bestmögliche Leistung zeigen sollte, oder der NC-Gruppe, die während der gesamten Untersuchung bewusst unter ihrer persönlichen Leistungsgrenze bleiben sollte, zugeordnet. Es wurden 49 Probanden der AC- und 49 Probanden der NC-Gruppe zugeteilt. Alle 98 an der Studie teilnehmenden gesunden Probanden absolvierten den Termin bis zum Ende. Aufgrund von starken Artefakten (mehr als 5% aller Datenpunkte) bei der Aufzeichnung der HR mussten 3 Probanden der AC- und 3 Probanden der NC-Gruppe von den Analysen ausgeschlossen werden, sodass 46 Probanden in der AC- und 46 Probanden in der NC-Gruppe verblieben und in die Analyse einbezogen werden konnten.

5.1.2 Rekrutierung und Zusammensetzung der Stichprobe der neurologischen Patienten

Die Daten der Gruppe der neurologischen Patienten (NP) wurden ebenfalls während einer neuropsychologischen Untersuchung erhoben. Die neurologischen Patienten wurden klinikintern sowie über die Homepage und Selbsthilfegruppen der Fragile Suisse zwischen dem 1. November 2015 und dem 21. Oktober 2016 rekrutiert. Die neuropsychologischen Untersuchungen fanden zwischen dem 27. November 2015 und dem 27. Oktober 2016 statt. Die Probanden der NP-Gruppe mussten Deutsch oder Schweizerdeutsch als Muttersprache haben oder über sehr gute Deutschkenntnisse verfügen. War eines der folgenden Kriterien erfüllt, führte dies zum Ausschluss:

- eine der folgenden spezifischen neuropsychologischen Störungen:
 - Apraxie
 - Aphasie
 - Agnosie
 - Alexie
 - Agraphie
 - Akalkulie
- Aktueller oder früherer Substanzabusus
- Teilnahme an einer anderen Studie, bei der in den 30 Tagen vor der Teilnahme an dieser Studie Medikamente eingenommen werden mussten

- Konsum von Alkohol und/oder illegalen Substanzen im Verlauf der 24 Stunden vor der Untersuchung

Da viele neurologische Patienten auf die Einnahme von Medikamenten angewiesen sind, die auch einen Einfluss auf den Herzkreislauf haben, wurden diese nicht als Ausschlusskriterium aufgeführt.

Die neurologischen Patienten erhielten vor Beginn der Untersuchung mündlich die Instruktion, ihre bestmögliche Leistung zu zeigen, wie dies vor jeder neuropsychologischen Untersuchung der Fall ist. Insgesamt nahmen 40 neurologische Patienten an der Studie teil. Aufgrund technischer Probleme bei der Aufzeichnung der HR musste ein Proband von den Analysen ausgeschlossen werden, sodass 39 Probanden in der NP-Gruppe verblieben und in die Analysen einbezogen wurden. Die Läsionsart, -lokalisierung und -lateralisierung der Hirnverletzung der 39 neurologischen Patienten ist der Tabelle 7 zu entnehmen.

5.1.3 Beschreibung der Gesamtstichprobe

Die Gesamtstichprobe bestand aus 138 Probanden, die den oben beschriebenen drei Gruppen (NP, AC, NC) zugeordnet wurden. Insgesamt wurden 6 gesunde Probanden aufgrund von Artefakten und ein neurologischer Patient aufgrund technischer Probleme für die weiteren Analysen nicht berücksichtigt. Die AC- und die NC-Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich demographischer Merkmale (Alter, Geschlecht, Bildung; alle $p > .05$). Verglichen mit der AC- und der NC-Gruppe bestand die NP-Gruppe aus signifikant mehr Männern. Sie wies einen signifikant höheren Altersdurchschnitt auf und verfügte über eine signifikant tiefere Anzahl Bildungsjahre (vergleiche Tabelle 7).

Um eine möglichst breite Aussage hinsichtlich der Klassifizierung der gesunden Probanden zu erreichen, wurde eine möglichst breite Stichprobe bezüglich Alter und Bildung angestrebt. In der Stichprobe der NP-Gruppe widerspiegelt sich die Tatsache, dass Männer ein höheres Risiko für ischämische Schlaganfälle und für Schädel-Hirn-Traumata haben. Ebenfalls nimmt das Risiko für Ischämien und Blutungen mit zunehmendem Alter zu (Feigin, Barker-Collo, Krishnamurthi, Theadom & Starkey, 2010). Dies ist eine Erklärung für das höhere Durchschnittsalter der Probanden der NP-Gruppe.

Um auszuschliessen, dass mögliche Unterschiede der HR und HRV auf systematische Gruppenunterschiede in der Reaktivität der HR (HR-Reaktivität) zurückzuführen sind, wurde untersucht, ob die HR durch eine physische Aktivität bei allen Gruppen in gleichem Masse ansteigt. Dazu wurden die Probanden gebeten, ein hydraulisches Handdynamometer (Saehan

Corporation, Süd Korea) mit der dominanten Hand mit maximaler Kraft während 30 Sekunden zusammenzudrücken. Um die HR-Reaktivität zu untersuchen, wurde die Differenz der HR zwischen einer Ruhebedingung, bei der die Probanden einen Landschaftsfilm betrachteten (SW2_1), und der physischen Aktivitätsaufgabe (MVC 2 oder 3) gebildet. Die drei Gruppen unterschieden sich, wie in Tabelle 7 dargestellt, nicht signifikant hinsichtlich der HR-Reaktivität ($p > .05$).

Tabelle 7

Demographie und klinische Variablen

	Gruppen			Statistiken	P
	AC (n=46)	NC (n=46)	NP (n=39)		
<i>Demographische Variablen</i>					
Geschlecht, männlich / weiblich	17 / 29	17 / 29	25 / 14	$\chi^2(2) = 8.2$	.017*
Alter, Durchschnitt in Jahren (SD)	35.37 (12.8)	37.93 (12.1)	48.05 (11.25)	$F(2) = 12.6$	.000***
Bildung, Durchschnitt in Jahren (SD)	14.64 (2.40)	14.87 (2.48)	13.36 (2.26)	$F(2) = 4.7$	.010**
HR-Reaktivität, Mittelwert in bpm (SD)	13.31 (12.96)	13.30 (10.05)	9.13 (9.83)	$F(2) = 2.3$	.109
<i>Klinische Variablen</i>					
Läsionsort (kortikal/subkortikal/generalisiert)	-	-	19 / 7 / 13		
Läsionslateralisierung (rechts/links/bilateral)	-	-	14 / 8 / 17		
Läsionsart (Ischämie, Blutung, SHT, multiple Läsionen, andere ^a)	-	-	9 / 5 / 2 / 6 / 17		

Bemerkung: AC = Active Coping, bpm = *beats per minute* (Deutsch: Schläge pro Minute) HR = Herzrate, NC = Non-Coping, NP = Neurologische Patienten, SD = Standardabweichung; SHT = Schädel-Hirn-Trauma, * = $p < .05$, ** = $p < .01$, *** = $p < .001$, a) andere = 1x Hippocampussklerose links, 3 x Tumor (2x Glioblastom, 1x unklare Genese) Multiple Läsionen = mind. zwei der sonst aufgeführten Läsionsarten.

5.2 Versuchsplan

Zur Beantwortung der in Kapitel 4 aufgeführten Fragestellungen wurden verschiedene Masse der HR und der HRV sowie neuropsychologische Testresultate von gesunden Probanden sowie die Δ HR der neurologischen Patienten untersucht. Der Ablauf der Datenerhebung war für die gesunden Probanden wie auch für die neurologischen Patienten standardisiert.

5.2.1 Untersuchungsablauf

Alle Probanden wurden in einer Einzelsitzung untersucht. Vor Beginn der Untersuchung wurden die unterschriebene Einverständniserklärung entgegengenommen, allfällige Fragen geklärt sowie die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft. Anschliessend wurden alle Probanden zu ihren demografischen Daten, ihrem Rauschmittelkonsum und einer allfälligen regelmässigen Medikamenteneinnahme befragt. Anschliessend wurden die gesunden Probanden zufällig einer von zwei Versuchsbedingungen zugeteilt. Der Proband wählte dafür nach dem Zufallsprinzip einen Briefumschlag, der eine detaillierte Instruktion enthielt, die für die gesamte Untersuchungsdauer befolgt werden sollte.

Die Instruktion der AC-Bedingung lautete: *Während der anschliessenden neuropsychologischen Untersuchung bitten wir Sie, Ihre bestmögliche Leistung zu zeigen. Versuchen Sie also, alle Aufgaben so gut wie möglich zu bearbeiten und bis an Ihre Leistungsgrenze zu gehen.*

Die Instruktion der NC-Bedingung lautete: *Während der anschliessenden neuropsychologischen Untersuchung bitten wir Sie, alle Aufgaben, die Ihnen gestellt werden, zu bearbeiten, jedoch bewusst deutlich unter Ihrer Leistungsgrenze zu bleiben. Dies bedeutet, dass wenn Ihnen eine Aufgabe gestellt wird, bei der Sie möglichst genau und schnell arbeiten sollen, arbeiten Sie nur so schnell, wie es geht, ohne dass Sie sich fest anstrengen müssen. Sie können sich dies so vorstellen; wenn Sie einen 100-Meter-Sprint machen, versuchen Sie nicht, die 100 Meter mit höchster Geschwindigkeit zu laufen, sondern joggen Sie die 100 Meter. Das bedeutet, Sie machen zwar, was von Ihnen verlangt wird, Sie versuchen aber nicht, Ihre beste Leistung zu geben.*

Um Einflüsse durch die Versuchsleitung zu minimieren, war diese blind gegenüber der Versuchsbedingung der gesunden Probanden. Die Bildung der AC- und der NC-Gruppe diente dazu, die diagnostische Validität des Modells zu berechnen, um diese anschliessend an der NP-Gruppe validieren zu können.

Nachdem die Instruktion ausgehändigt war und allfällige Fragen geklärt waren, wurde der Brustumfang des Probanden gemessen, um ein passendes T-Shirt zur Aufzeichnung der Herzrate auszuwählen. Das T-Shirt wurde direkt auf der Haut getragen, um einen optimalen Kontakt zwischen Textilelektrode und Haut herzustellen und so eine artefaktarme Aufzeichnung der HR zu garantieren. Um Bewegungsartefakte zusätzlich möglichst gering zu halten, sass der Proband während der ganzen Untersuchungsdauer auf einem Bürostuhl mit Rollen, damit er sich möglichst wenig bewegen musste, aber dennoch seine Sitzposition anpassen konnte. Die Versuchsleitung bestand aus zwei Personen. Eine Person führte den

Probanden durch die Untersuchung und instruierte alle Aufgaben. Die zweite Person sass hinter dem Probanden und überwachte während der ganzen Untersuchungsdauer die Aufzeichnungsqualität der HR und der Atmung. Zusätzlich notierte diese für jede durchgeführte Aufgabe den genauen Start- und Endzeitpunkt, um anschliessend die Aufgaben den entsprechenden Zeitspannen der HR-Zeitreihe zuweisen zu können.

Die Probanden wurden vor Beginn der Untersuchung darüber informiert, dass sie jederzeit eine Pause einlegen und die Studie auch ohne Angabe von Gründen vorzeitig beenden können. Der Ablauf der Untersuchung inklusive der Reihenfolge der Aufgaben war standardisiert. Der genaue Ablauf der Aufgaben ist in Appendix B, die Informationen zu allen durchgeführten Aufgaben sind in Appendix C aufgeführt. Für eine Person der NP-Gruppe konnte der Ablauf nicht standardisiert durchgeführt werden, da die Datenerhebung im Rahmen einer ärztlich angeordneten neuropsychologischen Untersuchung stattfand. Bei diesem Probanden kamen bei der Untersuchung neben den für die Studie benötigten Tests zusätzliche Testverfahren zum Einsatz. Einige Tests des Studienablaufs konnten hingegen nicht durchgeführt werden, sodass in diesem Fall die festgelegte Reihenfolge nicht eingehalten werden konnte. Von diesem Probanden waren daher keine Daten für die Analysen der nicht durchgeführten Aufgaben vorhanden.

Die Probanden der AC- und der NC-Gruppe wurden nach Ende der Untersuchung aufgefordert, ihre Instruktion, die sie zu Beginn der Untersuchung erhalten hatten, der Versuchsleitung zu kommunizieren. Zusätzlich wurden sie gebeten, auf einer visuellen Analogskala von „gar nicht schwer“ bis „sehr schwer“ anzugeben, wie schwer es ihnen gefallen war, die Instruktion (AC oder NC) während der Untersuchung einzuhalten. Damit sichergestellt werden konnte, dass es keine gruppenspezifischen Unterschiede in der HR-Reaktivität gibt, wurden die Probanden der NC-Gruppe gebeten, eine Aufgabe zur maximalen Handkraft (MVC 3) zu wiederholen und dabei die bestmögliche Leistung zu zeigen, da sie bei der vorhergehenden Aufgabe zur maximalen Handkraft (MVC 1 und 2) nicht ihre bestmögliche Leistung zeigen sollten. Die Probanden wurden aufgefordert, ein hydraulisches Handdynamometer mit der dominanten Hand mit maximaler Kraft während 30 Sekunden zusammenzudrücken.

Die Probanden der NP-Gruppe wurden gebeten, auf einer visuellen Analogskala von „gar nicht schwer“ bis „sehr schwer“ anzugeben, wie schwer es ihnen gefallen war, ihre bestmögliche Leistung zu zeigen. Die Probanden der AC- und der NP-Gruppe bekamen zudem die Gelegenheit, ihre Testresultate individuell mit der Studienleitung zu besprechen.

Für Probanden der NC-Gruppe stand diese Option nicht zur Verfügung, da ihre Resultate nicht als valide Abbildung ihrer Leistungsfähigkeit gelten.

5.3 Datenaufzeichnung und Datenverarbeitung der Herzrate

Die Erfassung der HR erfolgte mithilfe des *Smartex Wearable Wellness System* (WWS, Smartex, s.r.l., Italien). Das WWS besteht aus einem eng anliegenden T-Shirt mit zwei Textilelektroden und einem integrierten spannungssensitiven Atemgurt, der direkt unterhalb der Brust sitzt. Die Aufzeichnung der HR und der Atemfrequenz erfolgte mit einem am T-Shirt befestigten Bluetooth-fähigen Gerät (SEW, CSEM SA, Neuchâtel, Schweiz), das zudem über einen triaxialen Beschleunigungssensor verfügt, um die laterale, vertikale und horizontale Beschleunigung und somit die Bewegungen des Oberkörpers zu erfassen. Bewegung, Atmung und HR wurden während der gesamten Untersuchungsdauer kontinuierlich aufgezeichnet und via Bluetooth an einen Laptop gesendet, auf dem fortlaufend die Qualität der Daten mit Hilfe des Programms SmartScope (Smartex, s.r.l.) überwacht werden konnte. Die HR wurde mit einer Samplingrate von 250Hz aufgezeichnet. Die Verarbeitungsschritte der Rohdaten zu den verschiedenen HR- und HRV-Parametern sind in Abbildung 9 dargestellt.

Nach der Überprüfung auf Vollständigkeit wurden die Rohdaten aus SmartScope exportiert und mit dem Programm VivoSense® HRV Professional Edition 3.0 (Vivonoetics Inc., San Diego, Kalifornien, USA) weiterverarbeitet. Die Interbeat-Intervalle (RR-Intervalle) wurden nach der algorithmusbasierten Bestimmung der R-Zacken berechnet. Nach der Bestimmung der R-Zacken wurden die Daten auf Artefakte hin untersucht. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine manuelle Artefaktkorrektur durchgeführt, bei der die HR-Aufzeichnung visuell inspiziert und fehlende oder falsch platzierte R-Zacken manuell eingefügt oder korrigiert werden. In einem zweiten Schritt wurden weitere Artefakte mittels automatischer, algorithmusbasierter Artefaktkorrektur linear interpoliert, wenn das RR-Intervall weniger als vier Sekunden betrug. Artefakte, die ein RR-Intervall von mehr als vier Sekunden aufwiesen, wurden ausgeschlossen und für weitere Analysen nicht berücksichtigt. Extrasystolen wurden ebenfalls linear interpoliert. Gleichzeitig wurden Werte über der maximalen HR (220 minus Alter des Probanden) sowie Werte unter der minimalen HR (30) durch lineare Interpolation korrigiert. In Fällen, in denen ein Proband eine Pause während der Untersuchung benötigte, wurde die entsprechende Zeitdauer aus der gesamten HR-Zeitreihe entfernt. Datensätze mit mehr als 5% nicht erkennbarer R-Zacken wurden ausgeschlossen.

5.3.1 Zeitbasierte und frequenzbasierte Variablen

Die artefaktbereinigten Daten wurden zur weiteren Verarbeitung als RR-Zeitreihe exportiert und mit dem Programm Kubios HRV (Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-aho & Karjalainen, 2014) weiterverarbeitet.

Für jeden Probanden wurden in der RR-Zeitreihe für jede Aufgabe Startzeitpunkt und Endzeitpunkt markiert, sodass folgende Parameter für jede Aufgabe berechnet werden konnten: SDNN, RMSSD, LF_{nu} , HF_{nu} und LF/HF. Ausnahmen bilden diejenigen Aufgaben, die weniger als 30 Sekunden dauerten (Stroop, Token-Test, Rapid Naming), da die kürzeste Dauer zur Berechnung von HRV-Parametern mit dem Programm Kubios HRV 30 Sekunden beträgt.

Bei der Berechnung dieser Parameter kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Veränderung der HR und der HRV durch situative Faktoren mitbeeinflusst wird. So können z.B. Nervosität und/oder die Novität der Situation, wie es bei einer neuropsychologischen Untersuchung meistens der Fall ist, zu einer Veränderung der HR und der HRV führen (Blascovich & Mendes, 2001; Blascovich & Tomaka, 1996). Es ist daher von hoher Wichtigkeit, während der Untersuchung die Trendentwicklung der HR, die beispielsweise durch das Aufgeregtheitsein beeinflusst sein kann, zu kontrollieren. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der Novität der Situation und der unbekannten Anforderungen die HR des Probanden zu Beginn der Untersuchung erhöht ist. Mit zunehmender Dauer der Untersuchung gewöhnt sich der Proband an die Situation und die HR nimmt ab.

Um solche Einflüsse zu berücksichtigen, sind die folgenden Analysen nicht auf die durchschnittliche HR oder die RR-Intervalle gestützt, sondern auf die berechneten Residuen der HR (ΔHR), also die relativen Abweichungen der HR zum laufenden Mittelwert. Die ΔHR werden den zeitbasierten Variablen zugeordnet. Um in einer neuropsychologischen Untersuchungssituation den Einfluss von Nervosität auf die HR und HRV zu kontrollieren, wurde ein polynomiales Detrending mittels quadratischer Regression vorgenommen (zeitliche Trendbereinigung). Um physiologisch nicht plausible Veränderungen zwischen einzelnen Herzschlägen zu minimieren, wurden Herzschläge, die mehr als 20% von den vorhergehenden oder nachfolgenden Schlägen abwichen, linear interpoliert. Eine schematische Darstellung dieses Vorgangs ist in Abbildung 7 zu finden. Die daraus resultierenden ΔHR wurden für die weiteren Analysen verwendet. Die Berechnung der ΔHR wurde mit der Statistik Software IBM SPSS Statistics V23.0 (IBM SPSS Statistics, IBM Corp., Armonk, NY, USA) vorgenommen. Anschliessend wurden

für jeden Probanden in der ΔHR -Zeitreihe Startzeitpunkt und Endzeitpunkt jeder Aufgabe markiert, sodass der Mittelwert der ΔHR für jede Aufgabe berechnet werden konnte.

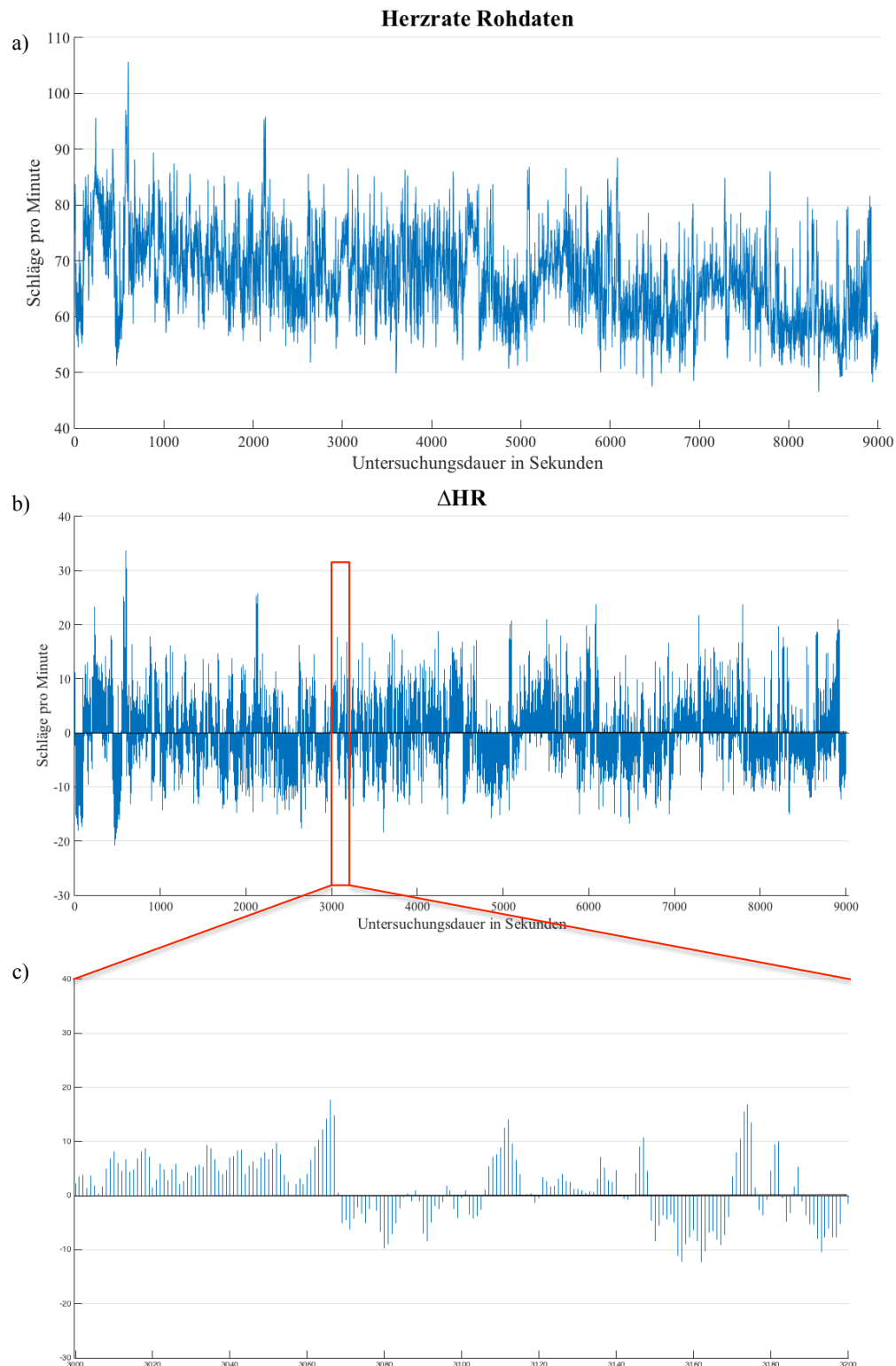


Abbildung 7. Schematische Darstellung der zeitlichen Trendbereinigung der Herzrate.

a) HR-Rohdaten über die gesamte Untersuchungsdauer; b) trendbereinigte HR (ΔHR) über die gesamte Untersuchungsdauer; c) Darstellung eines ausgewählten Ausschnitts der trendbereinigten Residuen wobei jeder Strich einen Messwert (ΔHR) darstellt.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, beeinflussen diverse Faktoren wie Alter, Fitness oder Atmung, die jedoch nicht mit der Bearbeitung der Aufgabe zusammenhängen, die HR und die HRV ebenfalls. Um diese Einflüsse zu minimieren, wurde für die Analyse der Veränderung der HR eine neue Herangehensweise gewählt, die im Folgenden beschrieben wird.

5.3.2 Glättung der Herzratenzeitreihe

Um die Veränderung der HR im zeitlichen Verlauf über die gesamte Dauer einer Aufgabe zwischen den Probanden vergleichen zu können, müssen alle Probanden gleich viele Datenpunkte haben. Um dies zu erreichen, wurden die artefaktbereinigten Daten in VivoSense auf 1 Hz umgerechnet (resampled) und in Schläge pro Minute (engl. *beats per minute*; bpm) umgerechnet. Die weitere Datenverarbeitung wurde in MATLAB, Statistics Toolbox Release 2015a (The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, United States) durchgeführt. Zwei weitere Schritte, die in Abbildung 8 dargestellt sind, wurden durchgeführt, um die HR-Zeitreihe für weitere Analysen vorzubereiten. Um für interindividuelle Unterschiede in der mittleren HR und für langfristige Veränderungen der HR während der Untersuchungsdauer (vgl. auch Vorverarbeitung ΔHR) zu korrigieren, wurde eine zeitliche Trendbereinigung vorgenommen. Zu diesem Zweck wurde eine Polynomfunktion zweiter Ordnung an die individuelle Zeitreihe angepasst, was zu trendbereinigten Residuen der HR führt. Diese Residuen entsprechen der Abweichung des laufenden Mittelwerts (ΔHR).

In einem zweiten Schritt wurden Fluktuationen, die nicht mit der Aufgabenbearbeitung, sondern mit physiologischen Prozessen wie der Atmung zusammenhängen, aus der trendbereinigten Zeitreihe herausgefiltert. Dies wurde mittels eines Gaussfilters mit einer Konstanten von $\sigma = 8.57$ (engl. *smoothing kernel*) und einer Halbwertsbreite (engl. *full width at half maximum*) von 25.53 Sekunden erreicht. Da die Anforderungen an kognitive Prozesse während der Aufgabenbearbeitung über mindestens 90 Sekunden dauern, ist davon auszugehen, dass die dadurch zustande kommenden Veränderungen der HR dieser zeitlichen Glättung standhalten und sogar verstärkt werden, da nicht aufgabenspezifische Fluktuationen wie Atmung oder kleine Bewegungen herausgefiltert werden. Die resultierenden Werte sind die geglätteten ΔHR (engl. *smoothed*; ΔsHR). Diese Art der Analyse ermöglicht es, den Verlauf der Herzrate unabhängig von der absoluten Veränderung zu berechnen, da der Einfluss von Faktoren wie Alter oder Fitnessniveau minimiert und das Signal-Rausch-Verhältnis optimiert wird.

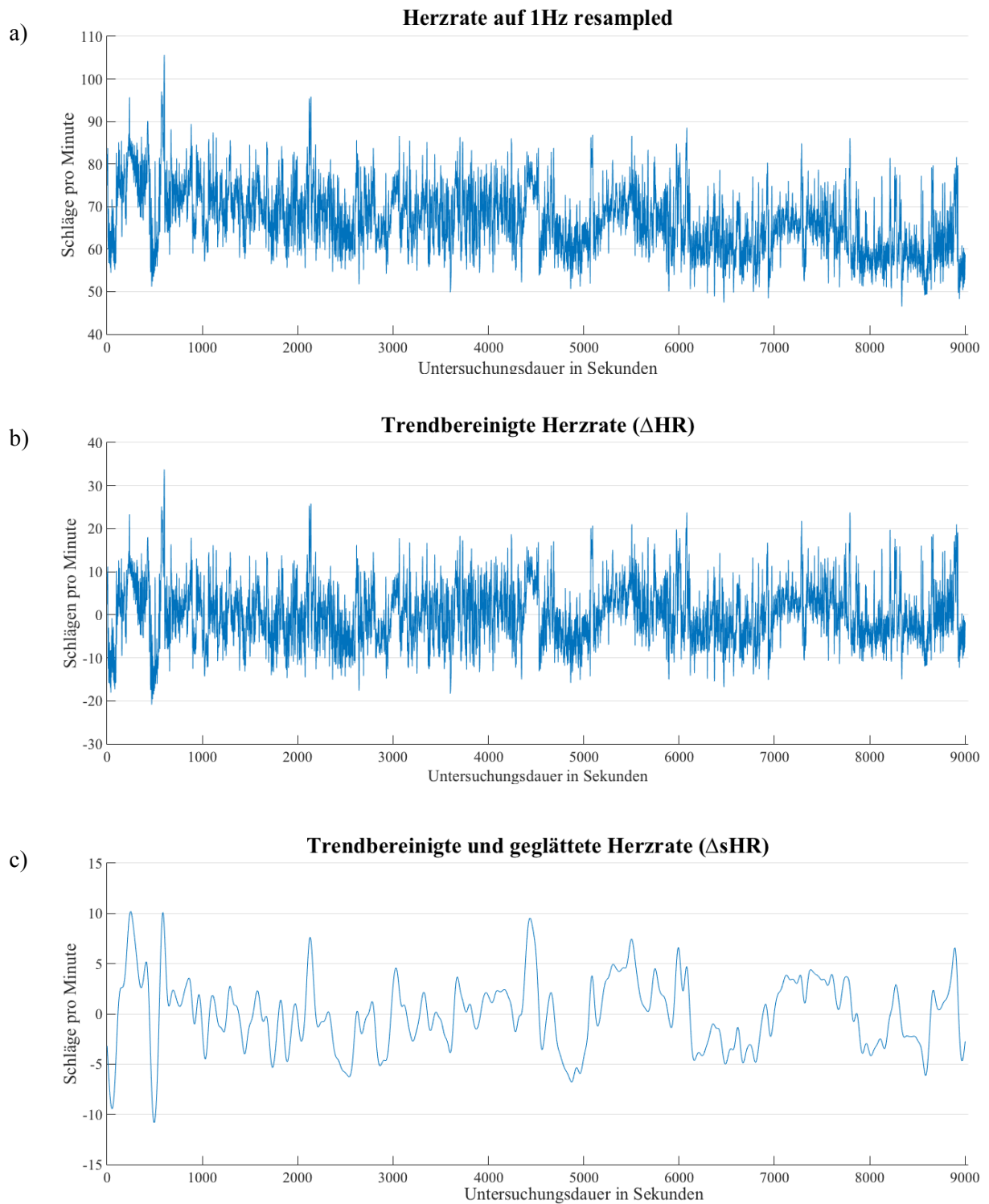


Abbildung 8. Darstellung der Vorverarbeitung der Herzrate.

a) Herzrate auf 1Hz resampled um eine gleichmässig verteilte Zeitreihe zu erhalten; b) trendbereinigte Herzrate ΔHR ; c) trendbereinigte und geglättete Herzrate ΔsHR .

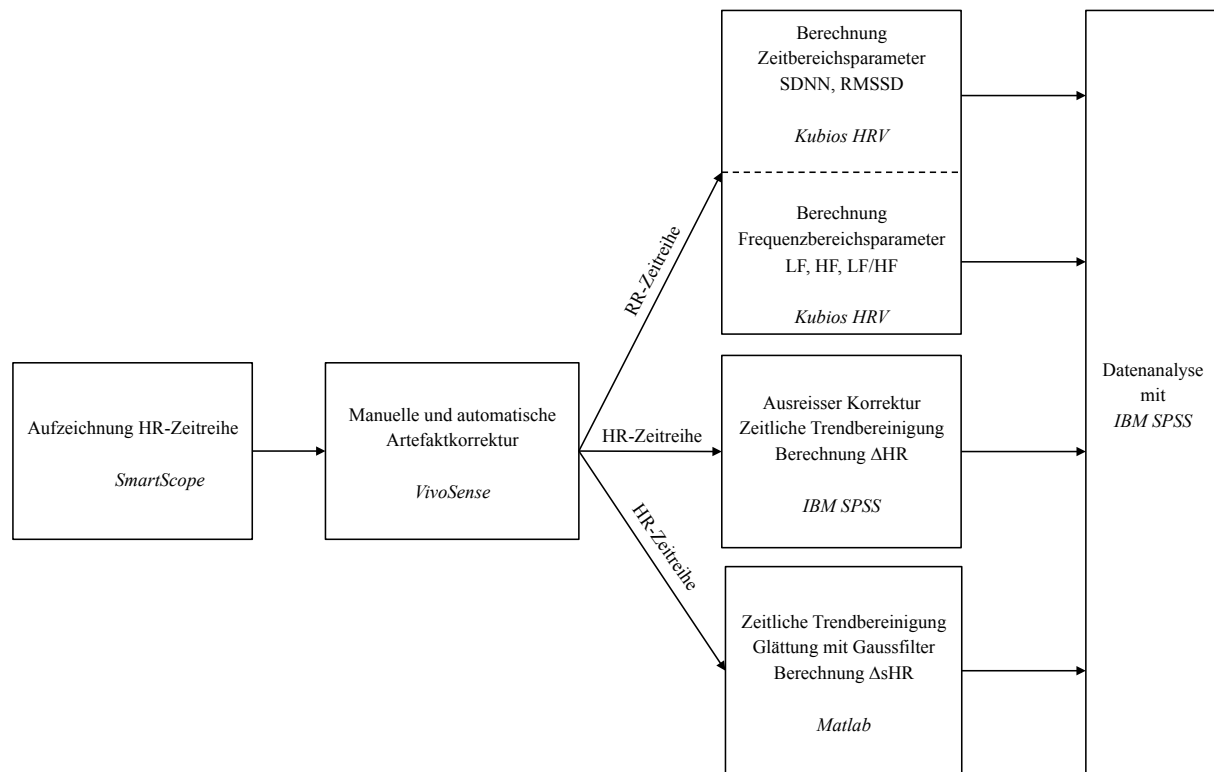


Abbildung 9. Darstellung der Vorverarbeitungsschritte der Herzraten (HR) und Herzratenvariabilitätsmasse (HRV).

Bemerkung: ΔHR = Relative Abweichungen der HR zum laufenden Mittelwert; ΔsHR = geglättete relative Abweichungen der HR zum laufenden Mittelwert; HF = hohes Frequenzband (engl. *High Frequency*); LF = engl. *low frequency*, Tiefes Frequenzband; LF/HF = Verhältnis von LF zu HF.

5.3.3 Testleistungen in neuropsychologischen Aufgaben

Zur Überprüfung von Gruppenunterschieden in den Testleistungen wurden für die durchgeführten neuropsychologischen Aufgaben z-Werte erfasst, die auf der Normierungsstichprobe basieren. Für eine Übersicht der durchgeführten Aufgaben siehe Appendix B.

5.4 Statistische Analysen

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Entwicklung eines Verfahrens, das das Leistungsverhalten des Exploranden über die gesamte Untersuchungsdauer erfasst und somit Aufschluss über die Mitarbeit des Exploranden während der gesamten Untersuchungsdauer gibt. Angestrebt wird ein Verfahren, welches sich ohne Störwirkung in die neuropsychologische Untersuchung integrieren lässt und dessen Ergebnisse weder vom Untersuchenden noch vom Exploranden bewusst beeinflusst werden können. Durch ein solches Verfahren besteht die Möglichkeit, Schwierigkeiten, wie sie in der neuropsychologischen Beurteilung und Interpretation von geminderten Testleistungen aktuell

bestehen, auszuräumen. Die im Folgenden berichteten Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics V23.0 durchgeführt.

Zunächst wurden alle Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung und mit dem Levene-Test auf Varianzhomogenität überprüft. Für alle Hypothesen wurde das Signifikanzniveau bei $\alpha = 5\%$ ($p < .05$) festgelegt. Um eine Kumulierung des Alphafehlers zu vermeiden, erfolgte bei multiplen Vergleichen eine Korrektur des Signifikanzniveaus nach Šidák (Šidák, 1967). Das angepasste Signifikanzniveau wird nachfolgend als p_{corr} bezeichnet. Als Mass für die Effektstärke wurde der Korrelationskoeffizient (r) verwendet. Nach Cohen (1992) entspricht $r = 0.1$ einem kleinen, $r = 0.3$ einem mittleren und $r = 0.5$ einem grossen Effekt.

5.4.1 Neuropsychologische Testverfahren

Um die Hypothese 1 zu prüfen, ob die Probanden der AC-Gruppe in kognitiv fordernden Aufgaben eine signifikant bessere Testleistung zeigen als Probanden der NC-Gruppe, wurde ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, da die Daten nicht normalverteilt waren. Die Testleistungen der Bremer Symptom-Validierung wurden zusätzlich explorativ inspiziert, um die Validität der Testleistungen mit einem Leistungsvalidierungsverfahren zu überprüfen.

5.4.2 Instruktionsbedingte Unterschiede bezüglich Herzrate und Herzratenvariabilität zwischen den beiden Gruppen mit gesunden Probanden

Zur Überprüfung der Hypothese 2a, ob die Probanden der AC-Gruppe eine signifikant höhere Zunahme der ΔHR zeigen als die Probanden der NC-Gruppen, und der Hypothese 2b, ob die Probanden der AC-Gruppe während den neuropsychologischen Aufgaben signifikant tiefere HRV-Werte zeigen als die Probanden der NC-Gruppe, wurde für diejenigen Aufgaben, bei denen die Daten normalverteilt waren, ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Für Aufgaben, bei denen die Daten nicht normalverteilt waren, wurde ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

5.4.3 Hauptkomponentenanalyse

Zur Untersuchung der Fragestellung 3, ob sich aus neuropsychologischen Aufgaben mit gleichbleibenden kognitiven Anforderungen und festgelegter Aufgabendauer AC-spezifische Faktoren ableiten lassen, wurde explorativ eine Hauptkomponentenanalyse der ΔsHR -Zeitreihen während bestimmter Aufgaben aller AC-Probanden durchgeführt.

Dazu wurden in einem ersten Schritt alle Testaufgaben, die signifikante Unterschiede zwischen der AC- und der NC-Gruppe sowohl in der Testleistung als auch in mindestens einem HR- oder HRV-Parameter aufwiesen, selektiert. Um sicherzustellen, dass nur Daten von Probanden, die die AC-Instruktion befolgt hatten, analysiert werden, wurden die Daten von Probanden, die bei der Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe eine unterdurchschnittliche Testleistung ($z \leq -1$) erbracht hatten, von den weiteren Analysen ausgeschlossen.

Um basierend auf den AC-spezifischen Faktoren der Hauptkomponentenanalysen weitere Analysen durchführen zu können, wurden für jede Aufgabe Korrelationen zwischen den AC-spezifischen Faktoren dieser Aufgabe und der zu dieser Aufgabe gehörenden individuellen Δ SHR-Zeitreihe jedes Probanden berechnet. Ein hoher Korrelationskoeffizient bedeutet, dass die Δ SHR eine hohe Übereinstimmung mit dem AC-spezifischen Faktor dieser Aufgabe aufweist. Unter der Annahme, dass die AC-spezifischen Faktoren mit der AC-Instruktion zusammenhängen, ist davon auszugehen, dass die Probanden der AC-Gruppe höhere Korrelationskoeffizienten aufweisen als die Probanden der NC-Gruppe. Basierend auf dieser Annahme wurde versucht, die Probanden mittels einer Diskriminanzanalyse anhand der Korrelationskoeffizienten ihrer Instruktionsbedingung zuzuteilen.

5.4.4 Diskriminanzanalyse

Eine Diskriminanzanalyse ist ein multivariates statistisches Verfahren, das eine Gruppe von abhängigen Variablen berücksichtigt, um Probanden in verschiedene Gruppen einzuteilen. Dazu wird eine neue Variable gebildet, der Diskriminanzwert. Dieser Wert maximiert das Verhältnis der Variabilität zwischen den beiden Gruppen. Dadurch unterscheiden sich auch die Probanden der verschiedenen Gruppen in ihren Diskriminanzwerten so stark wie möglich. Anhand des Diskriminanzwertes wird eine Klassifizierungsregel festgelegt. Um die bestmögliche Klassifizierungsregel zu berechnen, ist die Auswahl der aussagekräftigsten Prädiktoren (Korrelationskoeffizienten) notwendig. Um diese Auswahl zu treffen, wurde in der vorliegenden Studie eine schrittweise Diskriminanzanalyse durchgeführt, die eine Vorwärtsselektion vornimmt und Ausschlüsse erlaubt, um Variablen mit zu tiefem Erklärungswert aus der Analyse zu eliminieren (Aufnahmewert $F > 3.84$; Ausschlusswert $F < 2.71$). Der Diskriminanzwert liess sich anschliessend anhand der Diskriminanzfunktion berechnen und diente dazu, die Probanden der AC- bzw. der NC-Gruppe zuzuteilen.

5.4.5 Klassifikation der neurologischen Patienten

Die Diskriminanzanalyse unterstützt die Annahme, dass es bei den Probanden der AC-Bedingung zu aufgabenspezifischen Verläufen der Δ SHR kommt, die sich von den Δ SHR-Verläufen der Probanden der NC-Gruppe unterscheiden lassen. Basierend auf dieser Annahme ist davon auszugehen, dass sich aufgrund der aufgabenspezifischen Veränderungen der Δ SHR auch bei den neurologischen Probanden vergleichbare Verläufe der Δ SHR zeigen sollten wie bei den Probanden der AC-Gruppe, da diese ebenfalls instruiert waren, ihre bestmögliche Leistung zu zeigen. Um dies zu überprüfen, wurden die Verläufe der Δ SHR der NP-Probanden mit den Verläufen der AC-spezifischen Faktoren korreliert, um Korrelationskoeffizienten zu erhalten und sie anschliessend der AC- oder NC-Bedingung zuordnen zu können. Anhand der in der vorangehenden Diskriminanzanalyse berechneten Diskriminanzfunktion konnten die Probanden der NP-Gruppe einer der beiden Bedingungen zugeordnet werden. Ein Proband musste aufgrund fehlender Daten von dieser Analyse ausgeschlossen werden. Insgesamt wurden 38 Probanden der NP-Gruppe in diese Analyse einbezogen.

6 Resultate

Um mögliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit gesunden Probanden (AC, NC) und Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen und der Gruppe mit den neurologischen Patienten (NP) hinsichtlich der Veränderungen der HR und der HRV auf die Gruppenzugehörigkeit zurückführen zu können, müssen zunächst Ausgangswertunterschiede der Gruppencharakteristika ausgeschlossen werden.

6.1 Demographische Unterschiede zwischen den Gruppen

Die demographischen Angaben sowie die Ergebnisse der Überprüfung auf Ausgangswertunterschiede sind in Tabelle 7 abgebildet. Die AC- und die NC-Gruppe unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich Geschlecht, Alter und Bildung (alle $p > .05$). Die NP-Gruppe unterschied sich in allen drei Variablen signifikant von beiden Gruppen mit gesunden Probanden (AC, NC), wie in Tabelle 7 dargestellt ist.

Um Unterschiede in der HR-Reaktivität auszuschliessen, wurde untersucht, ob die HR durch eine physische Aktivität bei allen Gruppen in gleichem Masse ansteigt. Um die HR-Reaktivität zu untersuchen, wurde die Differenz der HR zwischen dem Betrachten eines Landschaftsfilmes und der physischen Aktivitätsaufgabe gebildet. Die drei Gruppen unterschieden sich, wie in Tabelle 7 dargestellt, nicht signifikant ($p > .05$).

6.2 Resultate der Gruppen mit gesunden Probanden

Die Ergebnisse der Vergleiche der AC- und NC-Gruppe wurden in mehrere Teile gegliedert, die im Folgenden dargestellt werden. Im ersten Teil wird der Einfluss der Instruktion auf die Testleistung der neuropsychologischen Aufgaben mittels Mann-Whitney-U-Test untersucht. Anschliessend folgt die statistische Überprüfung der Unterschiede in den HR- und den HRV-Massen zwischen den Gruppen mittels t-Test für unabhängige Stichproben und Mann-Whitney-U-Test.

6.2.1 Einfluss der Instruktion auf die neuropsychologischen Testergebnisse

Die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zeigen, dass sich die AC- und die NC-Gruppe in der Testleistung in 13 von insgesamt 32 untersuchten neuropsychologischen Aufgaben signifikant unterscheiden. Alle Aufgaben sind in Tabelle 8 aufgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für multiple Vergleiche nach Šidák korrigiert. Die Resultate bestätigen somit einen Einfluss der Instruktion auf die Testleistung und unterstützen die Annahme der Hypothese 1.

Tabelle 8

Mittelwertsunterschiede der beiden Gruppen mit gesunden Probanden (AC vs. NC) bezüglich Testleistungen in den neuropsychologischen Testverfahren

Neuropsychologisches Testverfahren	U	P _{corr}	r
Rey-Figur Kopie	589.50	.000*	0.38
Rey-Figur Abruf	627.00	.001*	0.35
WMS logisches Gedächtnis I	822.00	p>.05	0.19
WMS logisches Gedächtnis II	612.50	.000*	0.36
RWT Kategorie <i>Tiere</i>	993.00	p>.05	0.05
RWT S-Wörter	930.50	p>.05	0.10
Corsi Block-Tapping-Test	854.00	p>.05	0.17
5 Punkte Test Anzahl Korrekt produzierte Lösungen	865.50	p>.05	0.16
VLMT Durchgang 1	587.00	.000*	0.38
VLMT Summe Durchgänge 1 bis 5	556.50	.000*	0.41
VLMT Wiedererkennen	613.50	.000*	0.37
WIE Gemeinsamkeitenfinden	809.50	p>.05	0.20
WIE Allgemeines Wissen	996.50	p>.05	0.05
WIE Zahlennachsprechen vorwärts	779.50	p>.05	0.23
WIE Zahlennachsprechen rückwärts	958.00	p>.05	0.08
WIE Allgemeines Verständnis	852.50	p>.05	0.17
WIE Bilderergänzen	831.50	p>.05	0.19
WIE Zahlen-Symbol-Test	591.50	.000*	0.38
WIE Mosaiktest	733.50	p>.05	0.27
WIE Verbal-IQ	812.50	p>.05	0.20

Fortsetzung Tabelle 8

Neuropsychologisches Testverfahren	U	p _{corr}	r
WIE Handlungs-IQ	617.00	.001*	0.36
WIE Gesamt-IQ	642.50	.001*	0.34
STROOP 3	848.50	p>.05	0.17
STROOP 3 Fehler	1009.50	p>.05	0.02
Stroop-Interference-NoGo-Test Aufmerksamkeitsindex	494.00	.000*	0.46
Stroop-Interference-NoGo-Test Aufmerksamkeitsquotient	514.00	.000*	0.44
Ruff 2 & 7 Durchstreichtest total richtige Lösungen	665.50	.002	0.32
Ruff 2 & 7 Durchstreichtest total falsche Lösungen	1034.50	p>.05	0.02
TAP Alertness ohne Warnton (Median)	416.50	.000*	0.51
TAP Alertness mit Warnton (Median)	563.50	.000*	0.39
TAP Geteilte Aufmerksamkeit auditiv (Median)	680.50	.003	0.31
TAP Geteilte Aufmerksamkeit visuell (Median)	790.50	p>.05	0.22

Bemerkung: Tests wurden in der Untersuchungsreihenfolge aufgelistet; *= Signifikant nach Šidák-Korrektur für 32-Tests, p signifikant <0.0016; r, Effektstärke wobei gilt r=0.10, schwacher Effekt; r=0.30 mittlerer Effekt; r=0.50 starker Effekt; RWT = Regensburger Wortflüssigkeitstest; TAP = Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung; VLMT = Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest; WIE = Wechsler Intelligenztest für Erwachsene; WMS = Wechsler Memory Scale.

Um die Validität der Testleistung auch mit standardmässig eingesetzten Verfahren zu untersuchen, wurde die Bremer Symptom-Validierung durchgeführt. Bei der explorativen Inspektion dieser Testresultate zeigte sich, dass alle Probanden mit Ausnahme eines Probanden der NC-Gruppe und eines Probanden der NP-Gruppe eine unauffällige Testleistung erbracht haben.

6.2.2 Gruppenunterschiede in der Herzrate und den Herzratenvariabilitätsparametern zwischen den beiden Gruppen gesunder Probanden

Unterschiede der HR- und der HRV-Parameter zwischen der AC- und der NC-Gruppe wurden im Falle von Normalverteilung mit einem t-Test für unabhängige Stichproben untersucht. Wenn keine Normalverteilung vorlag, wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Bei Varianzheterogenität wurde eine Korrektur der Freiheitsgrade vorgenommen. Signifikante Gruppenunterschiede zeigten sich für Δ HR bei sechs Aufgaben (nach Šidák-Korrektur für multiple Vergleiche¹³; Zahlennachsprechen vorwärts: $t(90) = -4.00$, $p < .001$, $r = .39$; Ruff 2&7 Durchstreichtest: $t(76.645) = -5.65$, $p < .001$, $r = .54$; Stroop-Interference-NoGo-Test Durchgang 1: $U(92) = 586.00$, $p < .001$, $r = .38$; Swiss View 1_2: $U(92) = 668.00$, $p = .002$, $r = .32$; Zahlen-Symbol-Test: $U(92) = 343.00$, $p < .001$, $r = .58$). Für

¹³ Korrigiert für multiple Vergleiche nach Šidák, wobei p für Trend <0.0028, für signifikant 0.0013 (37 Tests)

die ebenfalls zeitbasierten Messwerte SDNN und RMSSD fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (alle $p > .05$). Im Bereich der frequenzbasierten Messwerte wurde ausschliesslich für den Zahlen-Symbol-Test ein signifikanter Gruppenunterschied festgestellt, der sich aber in allen drei Domänen (LF_{nu} , HF_{nu} , LF/HF) zeigte (LF_{nu} : $U(92) = 630.50$, $p = .001$, $r = .35$; HF_{nu} : $U(92) = 628.50$, $p = .001$, $r = .35$; LF/HF : $U(92) = 628.00$, $p = .001$, $r = .35$; alle anderen $p > .05$). Die Resultate unterstützen somit die Annahmen der Hypothesen 2a und 2b teilweise. Insbesondere bei den Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit, zum Arbeitsgedächtnis und zur Aufmerksamkeit konnten Unterschiede der HR- und der HRV-Parameter objektiviert werden. Entsprechend den Hypothesen 2a und 2b wies die AC-Gruppe signifikant höhere ΔHR , LF_{nu} -und LF/HF -Werte sowie tiefere HF_{nu} -Werte auf als die NC-Gruppe. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 10 die Verteilung der ΔHR pro Gruppe bei der Bearbeitung einer Aufgabe mit hoher Schwierigkeit und somit hohen kognitiven Anforderungen (Zahlen-Symbol-Test) sowie einer einfachen Aufgabe mit tiefen kognitiven Anforderungen (Bremer Symptom-Validierung).

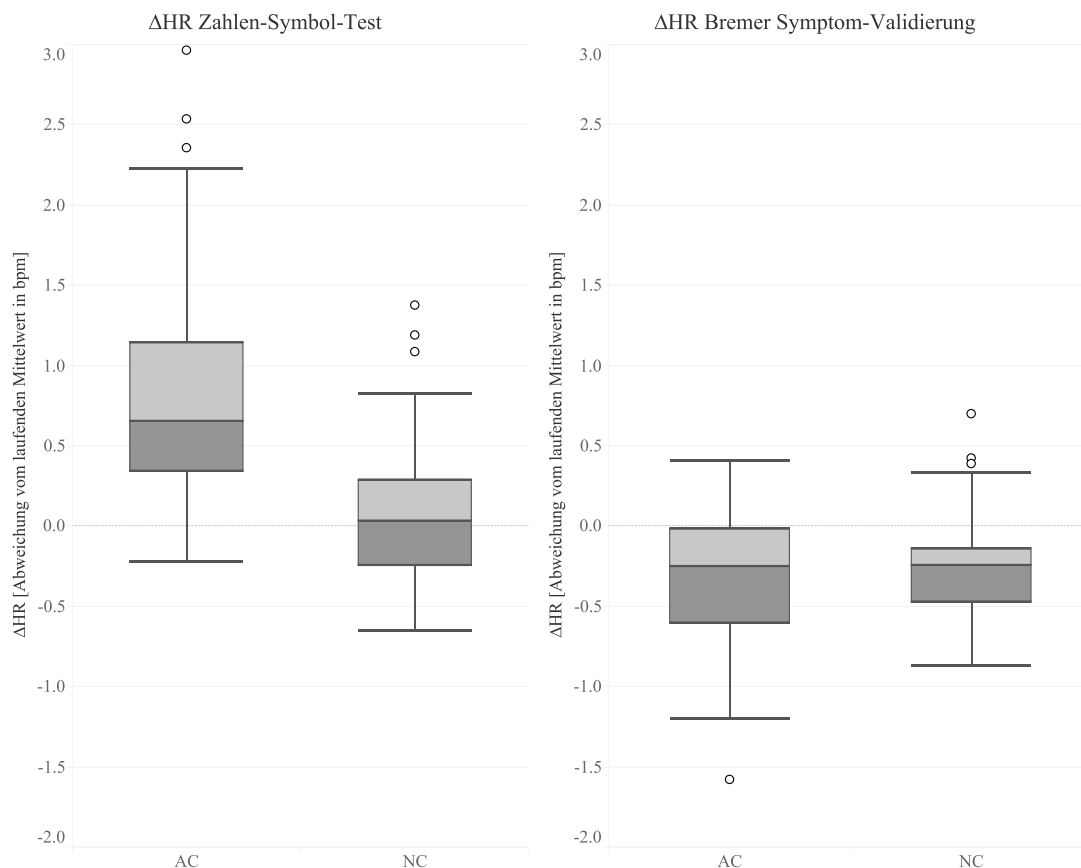


Abbildung 10. Gruppenunterschiede der Residuen der Herzrate während der Bearbeitung einer Aufgabe mit hohen kognitiven Anforderungen (Zahlen-Symbol-Test; links) und einer Aufgabe, die nachweislich nur minimale kognitive Anforderungen stellt (Bremer Symptom-Validierung; rechts). Der Zahlen-Symbol-Test weist einen signifikanten Gruppenunterschied zwischen der AC- und der NC-Gruppe auf, während bei der Bremer Symptom-Validierung kein signifikanter Gruppenunterschied besteht. Hellgrau= oberes Quartil ($p = 75\%$), Dunkelgrau = unteres Quartil ($p = 25\%$), Median, Whiskers (Antennen) entsprechen 1,5x Interquartilabstand.

6.3 Hauptkomponentenanalyse

Basierend auf den bereits dargestellten Ergebnissen der Gruppenunterschiede in den Testleistungen sowie der HR- und der HRV-Parameter wurde eine Auswahl an Variablen für die weitere Datenanalyse getroffen. Damit eine Aufgabe zur weiteren Analyse ausgewählt wurde, musste sowohl ein signifikanter Gruppenunterschied in der Testleistung als auch in einem der HRV-Parameter bestehen. Für Aufgaben, bei denen keine Verhaltensdaten erhebbar sind, war ein Unterschied entweder bei der HR oder einem der HRV-Parameter ausreichend. Ebenfalls mussten die Aufgaben eine festgelegte Aufgabendauer haben. Auf dieser Grundlage ergab sich folgende Auswahl: Zahlen-Symbol-Test, erster Durchgang des Stroop-Interference-NoGo-Tests, Ruff 2 & 7 Durchstreichtest, Swiss View 1_2. Alle weiteren Aufgaben erfüllten die Kriterien nicht und wurden daher für weitere Analysen ausgeschlossen.

Um Faktoren in einem späteren Schritt mittels Diskriminanzanalyse zwischen den Probanden der AC- und NC-Bedingungen unterscheiden zu können, wurden in einem ersten Schritt Faktoren extrahiert, die stark mit der AC-Bedingung korreliert sind (AC-spezifische Faktoren). Dazu wurde eine Hauptkomponentenanalyse ohne Rotation mit den Δ SHR der AC-Probanden für die ausgewählten Aufgaben durchgeführt. Um sicherzustellen, dass nur Daten von Probanden einbezogen werden, die die AC-Instruktion eingehalten haben und dadurch eine möglichst valide Schätzung der Hauptkomponente zu gewährleisten, wurden AC-Probanden mit einem unterdurchschnittlichen Testergebnis (z -Wert ≤ -1) von der Schätzung der AC-spezifischen Faktoren ausgeschlossen. Dies betraf zwei Probanden für den Zahlen-Symbol-Test, vier Probanden für den Ruff 2&7-Durchstreichtest und einen Probanden für den Stroop-Interference-NoGo-Test.

6.3.1 Zahlen-Symbol-Test

Für die Δ SHR während des Zahlen-Symbol-Tests bestätigte der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Messwert die Stichprobenadäquanz für die Analyse, $KMO = .969$ (hervorragend nach Field, 2009). Alle KMO-Werte für die individuellen Itemwerte waren $>.912$, die deutlich über dem akzeptablen Limit von $.5$ (Field, 2009) sind. Der ebenfalls durchgeführte Bartlett's Test auf Sphärität $\chi^2(861) = 63478.895$, $p < 0.001$ verweist darauf, dass die Korrelationen zwischen den Personen genügend gross sind für eine Hauptkomponentenanalyse. Eine erste Analyse wurde durchgeführt, um die Eigenwerte für jede Komponente zu erhalten, die sich aus dem Datensatz extrahieren lässt. Drei Faktoren hatten Eigenwerte über dem Kaiser's

Kriterium von 1 und erklären zusammen 97.85% der Varianz. Der Scree-Plot war ebenfalls eindeutig und rechtfertigt die Extraktion von 3 Faktoren.

6.3.2 Stroop-Interference-NoGo-Test

Für die Δ SHR während des ersten Durchgangs des Stroop-Interference-NoGo-Tests lag eine Multikollinearität vor (Determinante = 0). Die Daten eignen sich daher nicht für eine Hauptkomponentenanalyse, weshalb die Δ SHR des ersten Durchgangs des Stroop-Interference-NoGo-Tests für die weiteren Analysen nicht berücksichtigt wurden.

6.3.3 Ruff 2 & 7-Durchstreichtest

Für die Δ SHR während der Bearbeitung des Ruff 2&7-Durchstreichtests bestätigte der KMO-Messwert die Stichprobenadäquanz für die Analyse (KMO = .994; hervorragend nach Field, 2009). Alle KMO-Werte für die individuellen Itemwerte waren $>.787$, also deutlich über dem akzeptablen Limit von .5 (Field, 2009). Bartlett's Test auf Sphärizität $\chi^2(861) = 121032.970$, $p < 0.001$ verweist darauf, dass die Korrelationen zwischen den Personen genügend gross sind für eine Hauptkomponentenanalyse. Eine erste Analyse wurde durchgeführt, um die Eigenwerte für jede Komponente, die sich aus dem Datensatz extrahieren lässt, zu erhalten. Fünf Faktoren hatten Eigenwerte über dem Kaiser's Kriterium von 1 und erklären zusammen 96.81% der Varianz. Der Scree-Plot war nicht eindeutig und rechtfertigt die Extraktion von entweder 2 oder 5 Faktoren. Aufgrund der grossen Stichprobe sowie der Konvergenz des Scree-Plots und des Kaiser's Kriterium auf fünf Faktoren wurden für die weiteren Analysen fünf Faktoren extrahiert.

6.3.4 Swiss View 1_2

Für die Δ SHR während des Betrachtens von Landschaftsaufnahmen (Swiss View) bestätigt der KMO-Messwert die Stichprobenadäquanz für die Analyse (KMO = .974; hervorragend nach Field, 2009), und alle KMO-Werte für die individuellen Itemwerte waren $>.933$, also gut über dem akzeptablen Limit von .5 (Field, 2009). Bartlett's Test auf Sphärizität $\chi^2(1035) = 58103.097$, $p < 0.001$ verweist darauf, dass die Korrelationen zwischen den Personen genügend gross sind für eine Hauptkomponentenanalyse. Eine erste Analyse wurde durchgeführt, um die Eigenwerte für jede Komponente, die sich aus dem Datensatz extrahieren lässt, zu erhalten. Zwei Faktoren hatten Eigenwerte über dem Kaiser's Kriterium von 1 und erklären zusammen 98.79% der Varianz. Der Scree-Plot war ebenfalls eindeutig und rechtfertigt die Extraktion von 2 Faktoren. Aufgrund der grossen Stichprobe und der

Konvergenz des Scree-Plots und des Kaiser's Kriterium auf zwei Faktoren wurden für die weiteren Analysen zwei Faktoren extrahiert.

6.4 Replikationsanalyse der Hauptkomponentenanalyse

Um die Faktoranalyse zu bestätigen, wurde eine Replikationsanalyse mit einer weiteren Stichprobe aus 27 Probanden aus der Studie „Netzwerke der Emotionserkennung (NEmo)“ durchgeführt. Die NEmo-Stichprobe bestand aus 14 Männern und 13 Frauen (Altersspanne 20-61 Jahre; $M = 38.92$; $SD = 12.36$; Bildung in Jahren $M = 14.52$; $SD = 3.26$). Die Probanden dieser Stichprobe (NEmo) hatten die Instruktion erhalten, die Aufgaben möglichst gut zu bearbeiten. Sie bearbeiteten die Aufgaben im Rahmen einer Studie, welche sich mit dem Thema Emotionserkennung befasst. Bei diesen Probanden wurde ebenfalls eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Die Daten wurden auf dieselbe Art und Weise vorverarbeitet wie für diese Studie und wie in Kapitel 5.3.2 beschrieben. Für die ΔsHR während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests bestätigte der KMO-Messwert die Stichprobenadäquanz für die Analyse ($KMO = .946$; hervorragend nach Field, 2009), und alle KMO-Werte für die individuellen Itemwerte waren $>.640$, also deutlich über dem akzeptablen Limit von $.5$ (Field, 2009). Bartlett's Test auf Sphärizität $\chi^2(351) = 35967.945$, $p < 0.001$ verweist darauf, dass die Korrelationen zwischen den Personen genügend gross sind für eine Hauptkomponentenanalyse. Es ergaben sich wie bereits bei der AC-Gruppe drei Faktoren mit einem Eigenwert über dem Kaiser's Kriterium von 1. Sie erklären zusammen 97.05% der Varianz. Der Scree-Plot war ebenfalls eindeutig und rechtfertigt die Extraktion von 3 Faktoren. Es ergaben sich sehr hohe Korrelationen zwischen den AC-spezifischen Faktoren und den Faktoren der NEmo-Gruppe, wie Tabelle 9 zu entnehmen ist.

Tabelle 9

Korrelationstabelle der 3 Faktoren der AC- und der NEmo-Gruppe während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests

Variable	2	3	4	5	6
1 Faktor 1 AC	.000	.000	.995**	-.082	-.052
2 Faktor 2 AC	-	.000	-.086	-.995**	.047
3 Faktor 3 AC		-	-.051	.054	.997**
4 Faktor 1 NEmo			-	.000	.000
5 Faktor 2 NEmo				-	.000
6 Faktor 3 NEmo					-

Anmerkungen. AC = Active Coping Gruppe aus der vorliegenden Studie; NEmo = Gruppe der Teilnehmenden aus der Studie „Netzwerke der Emotionserkennung (NEmo)“. * $p < .05$, ** $p < .01$. Korrelationen, die betragsmäßig größer $.90$ ($p < .001$) sind, wurden zusätzlich durch Fettdruck hervorgehoben.

6.5 Berechnung der Korrelationskoeffizienten

Nach der Schätzung der AC-spezifischen Faktoren wurden die Korrelationskoeffizienten für alle Probanden berechnet. Dazu wurde für jeden Probanden jeder Untersuchungsgruppe (AC, NC, NP) die Δ SHR der jeweiligen Aufgabe mit den Faktoren dieser Aufgabe korreliert, die an der AC-Gruppe bestimmt wurden. Je höher diese Korrelation ist, desto höher ist die Übereinstimmung zwischen der Δ SHR und den AC-spezifischen Faktoren der Aufgabe. Diese neu berechneten Korrelationen wurden anschliessend für die Diskriminanzanalyse zur Gruppierung der Probanden verwendet.

Um die Einhaltung der NC-Instruktion sicherzustellen und dadurch eine möglichst geringe falsch-positiv-Klassifikation aufgrund der Nichteinhaltung der Instruktionsbedingung zu erreichen, wurden Probanden der NC-Gruppe, die überdurchschnittliche Resultate (z -Werte ≥ 1) in einer der Aufgaben erzielten, von den weiteren Analysen ausgeschlossen. Dies betraf sechs Probanden für den Zahlen-Symbol-Test, sechs Probanden für den Ruff 2&7-Durchstreichtest und drei Probanden für den Stroop-Interference-NoGo-Test. Einige Probanden wurden in mehr als einem Test ausgeschlossen. Insgesamt wurden 15 gesunde Probanden von den weiteren Analysen ausgeschlossen (6 Probanden der AC-Gruppe und 9 Probanden der NC-Gruppe), da bei diesen Probanden mindestens ein Korrelationskoeffizient nicht berechnet werden konnte, sodass insgesamt 77 Probanden für die nachfolgende Diskriminanzanalyse miteinbezogen wurden. Ein Proband der NP-Gruppe musste wegen fehlender Daten ebenfalls von der Diskriminanzanalyse ausgeschlossen werden, da für diesen Probanden drei Korrelationskoeffizienten nicht berechnet werden konnten.

6.6 Diskriminanzanalyse

Die Hauptkomponentenanalyse wurde durch eine lineare Diskriminanzanalyse ergänzt. Die Diskriminanzanalyse dient dazu, anhand der vorhandenen Daten eine möglichst gute Trennung zwischen den beiden Gruppen (AC und NC) zu erreichen. Bei dieser diskriminanzanalytischen Auswertung, (Methode: blockweise) wurden fünf Variablen berücksichtigt. Dabei werden Variablen anhand einer Vorwärtsselektion in die Gleichung aufgenommen, wenn sie einen Aufnahmewert von $F > 3.84$ erfüllen. Wenn sie unter einen Erklärungswert von $F < 2.71$ (Ausschlusswert) fallen, werden sie wieder aus der Gleichung eliminiert. Die berücksichtigten Variablen sind die Faktoren 1 und 2 des Zahlen-Symbol-Tests (ZST_{Faktor1} , ZST_{Faktor2}) sowie die Faktoren 1, 2 und 3 des Ruff 2&7-Durchstreichtests ($2\&7_{\text{Faktor1}}$, $2\&7_{\text{Faktor2}}$, $2\&7_{\text{Faktor3}}$). Nicht berücksichtigt wurden der Faktor 3 des Zahlen-Symbol-Tests, die Faktoren 4 und 5 des Ruff 2&7-Durchstreichtests sowie die Faktoren 1 und

2 des Swiss View 1_2, da sie den Aufnahmewert von $F > 3.84$ nicht erreichten. Die abgeleitete Diskriminanzfunktion, mit der die Berechnung des Diskriminanzwerts erfolgte, lautet wie folgt:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5$$

$$V_1 = -0.302 + 0.735 \cdot \text{ZST}_{\text{Faktor1}} + 0.667 \cdot \text{ZST}_{\text{Faktor2}} + 1.005 \cdot 2\&7_{\text{Faktor1}} + 1.034 \cdot 2\&7_{\text{Faktor2}} + 1.247 \cdot 2\&7_{\text{Faktor3}}$$

Die Diskriminanzfunktion unterscheidet mit einem kanonischen $R^2 = .658$ signifikant zwischen der AC- und der NC-Gruppe ($\Lambda = .567$, $\chi^2(6) = 41.076$, $p < .001$). Die Korrelation zwischen den Korrelationskoeffizienten und der Diskriminanzfunktion zeigt, dass Probanden der AC-Gruppe hoch ($r = .829$) und Probanden der NC-Gruppe tief ($r = -.896$) auf der Funktion laden.

6.6.1 Klassifikation der gesunden Probanden

Anhand des Diskriminanzwertes wurden die Probanden der AC- oder der NC-Bedingung zugeteilt. Insgesamt wurden 64 der 77 gesunden Probanden der richtigen Instruktionsbedingung (AC, NC) zugeteilt, was einer korrekten Klassifizierungsquote von 83.1% entspricht. Die Diskriminanzfunktion hat eine Sensitivität¹⁴ von 85% und eine Spezifität¹⁵ von 81.1%.

Zur Validierung der Diskriminanzfunktion wurde eine Kreuzvalidierung nach dem Prinzip *leave-one-out* vorgenommen. Bei der Kreuzvalidierung wurden 59 der 77 gesunden Probanden der richtigen Instruktionsbedingung zugeteilt, was einer Klassifizierungsquote von 76.6% entspricht. Der RATZ-Index¹⁶ weist mit einem Wert von 0.679 auf eine deutliche Verbesserung des Verfahrens gegenüber einer zufälligen Zuteilung der Probanden zur Instruktionsbedingung hin. Die Klassifizierung der Probanden zur AC- bzw. NC-Gruppe ist detailliert in Tabelle 10 dargestellt.

Abbildung 11 stellt den mittleren Verlauf der Δ SHR der gesunden Probanden während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests dar. Die Probanden wurden entsprechend ihrer Klassifizierung dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Probanden der AC-Gruppe, die der AC-Instruktionsbedingung (dunkelblau) zugeteilt wurden, nach dem Beginn der Aufgabe

¹⁴ Die Sensitivität gibt den Anteil an Personen an, die durch die Diskriminanzanalyse korrekt der AC-Gruppe zugeteilt wurden.

¹⁵ Die Spezifität gibt den Anteil an Personen an, die durch die Diskriminanzanalyse korrekt der NC-Gruppe zugeordnet wurden.

¹⁶ RATZ = Relativer Anstieg der Trefferquote gegenüber der Zufallstrefferquote. Der RATZ-Kennwert beschreibt die Güte des Verfahrens und zeigt, um wie viel das Testverfahren im Vergleich zu einer zufälligen Zuteilung besser abschneidet (Marx, 1992).

(Sekunde 0) eine Zunahme der Δ SHR zeigen, die nach ungefähr 50 Sekunden in ein Plateau übergeht. Einen ähnlichen Verlauf der Δ SHR ist für die Probanden der NC-Gruppe zu beobachten, die der AC-Bedingung zugeordnet wurden (hellrot). Es zeigt sich jedoch nach ungefähr 50 Sekunden kein Plateau, sondern eine Abnahme der Δ SHR.

Der mittlere Verlauf der Probanden der NC-Gruppe, die der NC-Bedingung zugeordnet wurden (rot), weist nach dem Beginn der Aufgabe eine leichte Abnahme der Δ SHR auf. Nach ungefähr 50 Sekunden folgt ein leichter Anstieg bis zum Ende der Aufgabe. Der mittlere Verlauf der Probanden der AC-Gruppe, die der NC-Bedingung zugeordnet worden waren (hellblau), zeigt eine relativ flache Verlaufsform mit einem leichten Anstieg über die gesamte Aufgabendauer hinweg.

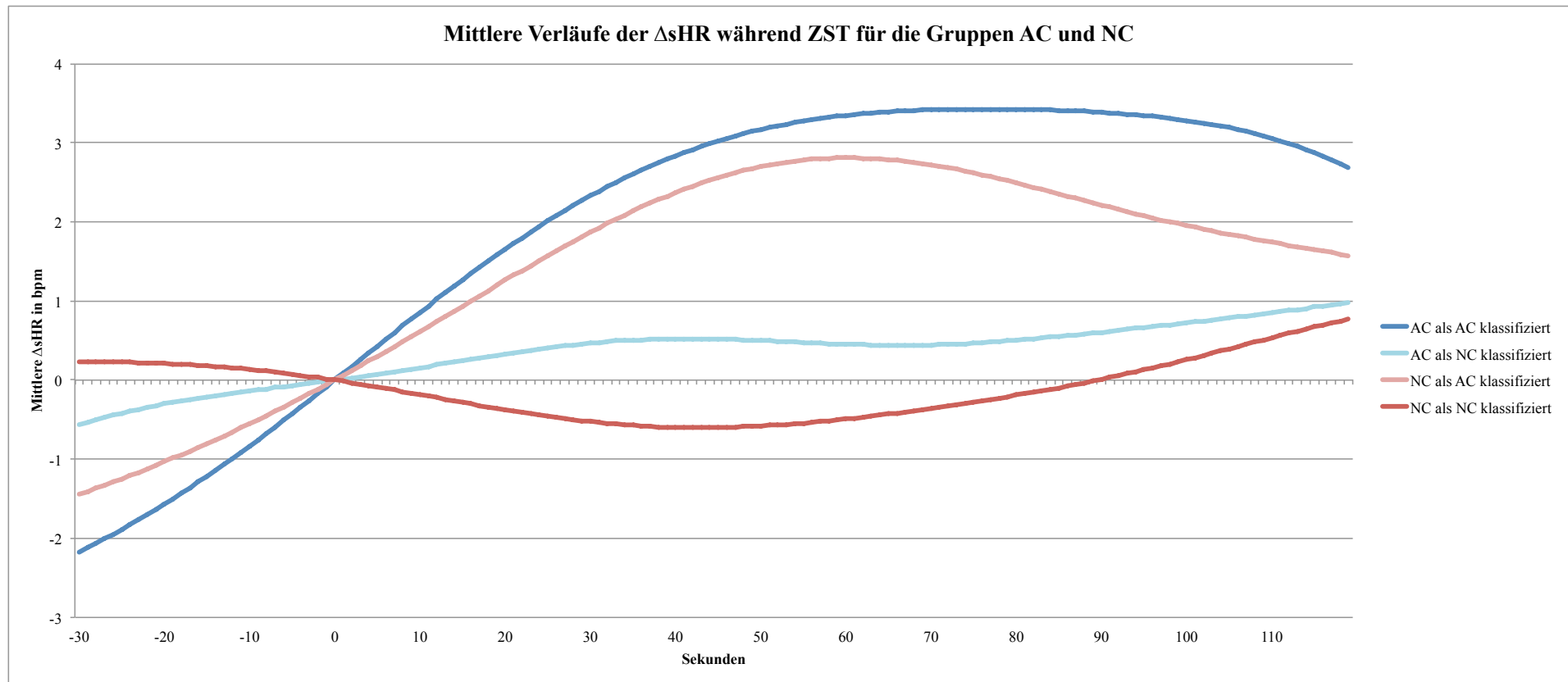


Abbildung 11. Mittlere Verläufe der Δ sHR der gesunden Probanden während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests. Miteinbezogen sind jeweils die gesunden Probanden, dargestellt in Abhängigkeit ihrer Zuordnung zur Instruktionsbedingung.

6.6.2 Klassifikation der neurologischen Patienten

Die Diskriminanzwerte der Probanden der NP-Gruppe wurden mit der in der Diskriminanzanalyse ermittelten Diskriminanzfunktion berechnet. Die Probanden der NP-Gruppe konnten im Gegensatz zu den Probanden der AC- und NC-Gruppen keiner der beiden Bedingungen zuverlässig zugeordnet werden. So wurden 50% der Probanden der NP-Gruppe der AC-Bedingung und 50% der NC-Bedingung zugeordnet, wie in Tabelle 10 dargestellt ist:

Tabelle 10

Klassifizierungsergebnisse der Diskriminanzanalyse für Probanden der AC-, NC- und NP-Gruppen sowie Ergebnisse der Kreuzvalidierung für die Probanden der AC- und NC-Gruppen.

	Gruppe	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
		AC Anzahl (%)	NC Anzahl (%)	
Gruppenzugehörigkeit	AC	34 (85.0%)	6 (15.0%)	40
	NC	7 (18.9%)	30 (81.1%)	37
	NP	19 (50.0%)	19 (50.0%)	38
Kreuzvalidiert	AC	32 (80.0%)	8 (20.0%)	40
	NC	10 (27.0%)	27 (73.0%)	37

Bemerkung: AC = Active-Coping-Gruppe, NC = Non-Coping-Gruppe, NP = Neurologische-Patienten-Gruppe

Die Probanden der NP-Gruppe, die der AC-Bedingung zugeordnet worden waren, unterschieden sich weder hinsichtlich Alter, Geschlecht, Bildung noch Läsionsort, -art oder -lateralisierung von den Probanden der NP Gruppe, die der NC-Bedingung zugeordnet worden waren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt. Ebenfalls unterschieden sie sich in den Testleistungen des Zahlen-Symbol-Tests und des Ruff 2&7-Durchstreichtests nicht signifikant (alle $p > .05$). Weiter unterschieden sich diejenigen Probanden der NP-Gruppe, die der AC-Bedingung zugeordnet wurden, nicht signifikant hinsichtlich der HR-Reaktivität von den Probanden, die der NC-Bedingung zugeordnet wurden. Für diese Analysen waren nur die Daten von 32 Probanden vorhanden, da die Daten von 4 weiteren Probanden für die physische Aufgabe aufgrund von Artefakten ausgeschlossen werden mussten.

Tabelle 11

Faktoren, die untersucht wurden, um zu erklären, ob sich NPs, die der AC-Bedingung zugeordnet worden waren, von den NPs unterscheiden, die der NC-Bedingung zugeordnet worden waren.

Faktor	Testwert	<i>p</i>	Eta
Alter	$t(36) = .248$	.806	.029
Bildung ^a	$t(36) = -.213$	.833	.035
Geschlecht (weiblich vs. männlich)	$\chi^2(1) = .012$	.914	.018
Läsionsort ^b	$\chi^2(2) = 1.759$	.415	.089
Läsionslateralisierung ^c	$\chi^2(2) = .536$	.765	.119
Läsionsart ^d	$\chi^2(4) = .978$	.931	.072
HR-Reaktivität	$t(32) = .382$	.705	.005

Bemerkung: a = Bildung in Jahren; b = kortikal, subkortikal, bilateral; c = rechts, links, bilateral; d = Ischämie, Blutung, Schädel-Hirn-Trauma, multiple Läsionen, andere (1x Hippocampussklerose links, 3 x Tumor (2x Glioblastom, 1x unklare Genese)).

Abbildung 12 zeigt die Wahrscheinlichkeit, mit der die einzelnen Probanden aller drei Gruppen der AC-Bedingung zugeordnet werden. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung basiert auf dem Diskriminanzwert der Diskriminanzanalyse. Eine hohe Wahrscheinlichkeit bedeutet, dass der Proband mit hoher Sicherheit der AC-Bedingung zugeordnet wird. Eine tiefe Wahrscheinlichkeit bedeutet, dass der Proband nicht mit hoher Sicherheit der AC-Bedingung zugeordnet werden kann. Liegt die Wahrscheinlichkeit unter 50%, wird der Explorand der NC-Bedingung zugeteilt.

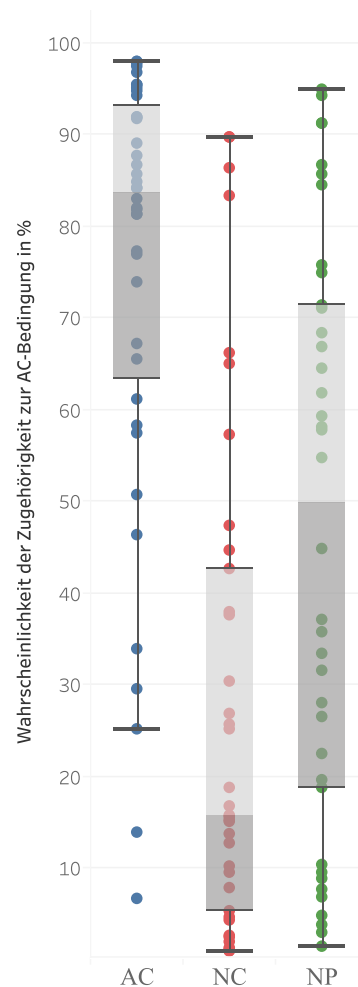


Abbildung 12. Wahrscheinlichkeit der korrekten Klassifizierung aller Probanden der AC-, NC- und NP-Gruppen zur AC-Bedingung. Die Probanden sind in Abhängigkeit von der ursprünglichen Gruppenzuteilung dargestellt.

Abbildung 13 stellt den mittleren Verlauf der Δ SHR während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests dar. Bei der AC- und der NC-Gruppe wurden diejenigen Probanden miteinbezogen, die korrekt ihrer Instruktionsbedingung zugeordnet worden waren. Die Probanden der NP-Gruppe werden so dargestellt, wie sie klassifiziert worden waren. Ebenfalls dargestellt ist der mittlere Verlauf der Δ SHR der NEmo-Gruppe. Es gilt zu beachten, dass der mittlere Δ SHR-Verlauf der AC-Probanden, die korrekt der AC-Bedingung zugeordnet worden waren, fast deckungsgleich mit dem mittleren Verlauf der Validierungsgruppe der NEmo-Studie verläuft, was auch durch die hohen Korrelationen der Faktoren der Hauptkomponentenanalysen bestätigt wird. Der mittlere Verlauf der Probanden der NP-Gruppe, die der AC-Bedingung zugeordnet worden waren, scheint eine ähnliche Verlaufsform aufzuweisen, verläuft jedoch flacher, insbesondere bezogen auf den Anstieg zum Aufgabenbeginn (Sekunde 0). Die mittleren Δ SHR-Verläufe der korrekt als NC klassifizierten Probanden und der Probanden der NP-Gruppe, die der NC-Bedingung zugeordnet worden waren, verlaufen ebenfalls fast deckungsgleich.

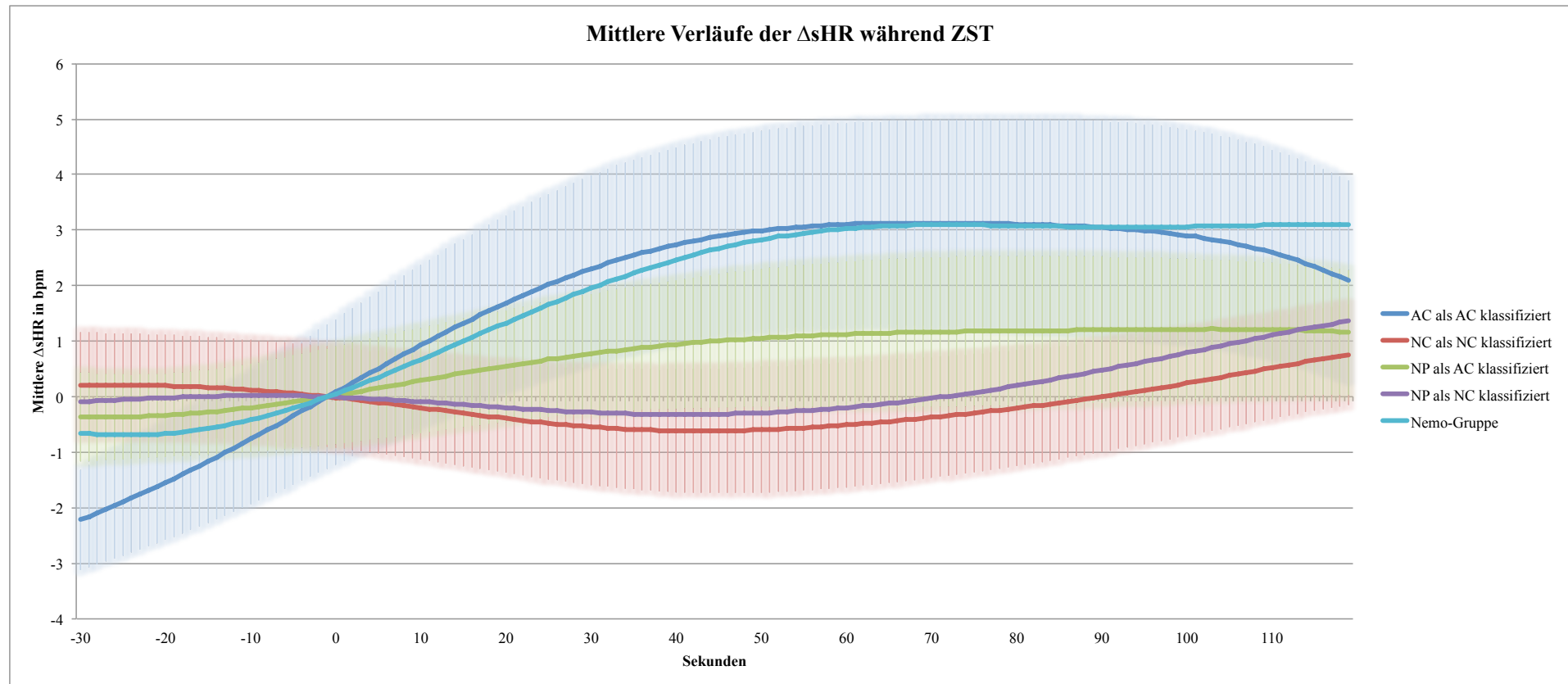


Abbildung 13. Mittlere Verläufe der Δ sHR mit 95-% Konfidenzintervall während der Bearbeitung des Zahlen-Symbol-Tests.

Miteinbezogen sind jeweils die Probanden der AC- und NC-Gruppen die korrekt ihrer Instruktionsbedingung zugeordnet wurden sowie die Probanden der NP-Gruppe, in Abhängigkeit ihrer Zuordnung zur Instruktionsbedingung und die NEMO-Gruppe, mit der die Validierung der AC-spezifischen Faktoren durchgeführt wurden.

III Diskussion

Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über die aktuelle Praxis zur Frage der Leistungsvalidierung neuropsychologischer Testergebnisse in der neuropsychologischen Untersuchung und Forschung. Konzipiert ist sie als Leitfaden zur Interpretation von Minderleistungen im neuropsychologischen Untersuchungskontext. Darüber hinaus wird in dieser Arbeit ein neuropsychophysiologischer Ansatz zur Leistungsvalidierung eingeführt und untersucht. Die kritische Diskussion zum aktuellen Stand der Leistungsvalidierung von Testergebnissen soll die Leserschaft für mögliche Fehlerquellen bei der Interpretation von Minderleistungen sensibilisieren und auf deren immense rechtliche sowie ökonomische Bedeutung hinweisen. Dadurch sollen die kritische Anwendung von Leistungsvalidierungsverfahren sowie eine gut fundierte Interpretation von Minderleistungen gefördert werden.

Der erste Teil der Arbeit widmete sich dem aktuellen Forschungsstand zur Leistungsvalidierung in der neuropsychologischen Diagnostik. Weiter wurde die aktuelle Diskussion um die Bedeutung der mentalen Anstrengung bei der Bewältigung kognitiv fordernder Aufgaben aufgegriffen und mit Veränderungen des autonomen Nervensystems, insbesondere der Herzrate (HR) und der Herzratenvariabilität (HRV), während der Bearbeitung der Aufgaben in Verbindung gebracht. Ebenfalls wurden bisher unscharf definierte Begriffe präzisiert und abgegrenzt. Schliesslich wurden neuropsychologische Grundlagen von Herzratenveränderungen beschrieben und mit aufgabenspezifischen Anforderungen in Verbindung gesetzt.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde eine neuropsychologische Studie vorgestellt, die aufzeigt, dass Veränderungen der Herzrate als Leistungsvalidierungsmass verwendet werden können. Dadurch trägt die Arbeit zu einer massgeblichen Weiterentwicklung der Leistungsvalidierung im neuropsychologischen Kontext bei.

Im folgenden Teil werden die Studienergebnisse in die aktuelle Forschungsliteratur eingeordnet und kritisch diskutiert. Anschliessend werden die Resultate in den sozialrechtlichen und gesellschaftlichen Kontext eingebettet, es wird eine übergreifende Interpretation vorgenommen und Limitationen werden ausgeführt. Das Fazit und der Ausblick auf zukünftig zu bearbeitende Aspekte schliessen die Arbeit ab.

7 Diskussion der Studienresultate

Das Ziel einer neuropsychologischen Untersuchung ist es, allfällige Funktionsbeeinträchtigungen zu objektivieren und diese bestimmten Hirnfunktionen

zuzuschreiben. Dabei hilft es, ein Profil der kognitiven Leistungsfähigkeit zu erstellen. Bestehen Minderleistungen, ist eine zuverlässige Beurteilung ihrer Ursachen äusserst wichtig (Hartje, 2006). Dazu muss die Validität des erhobenen neuropsychologischen Testprofils zwingend überprüft werden. Die Validität der Testleistung ist dann gegeben, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die erbrachten Testresultate die tatsächlichen Fähigkeiten des Exploranden widerspiegeln und nur durch die zugrundeliegenden Hirnfunktionen des Exploranden begrenzt sind und nicht durch persönliche Motive oder äussere Anreize limitiert werden. Die Validität lässt sich jedoch nicht allein anhand der Testleistung und des klinischen Eindrucks des Untersuchers beurteilen (Boone, 2013). Die Testmotivation des Exploranden, sein Vermögen zu kooperieren und seine tatsächliche Kooperativität während der Untersuchung müssen ebenfalls beurteilt werden, um die Validität der Testleistung zu überprüfen.

Für eine solche Leistungsvalidierung werden neben der Sichtung von medizinischen Akten und Selbstberichten des Exploranden sowie Verhaltensbeobachtungen spezifisch dafür entwickelte Leistungsvalidierungsverfahren eingesetzt, um selbstlimitierendes Leistungsverhalten zu entdecken, das zu simulierendem oder aggravierendem Verhalten führt (Slick & Sherman, 2013; Slick et al., 1999). Für die Diskussion zum Begriff der Leistungsvalidierung siehe Kapitel 1.1. Der Einfluss mangelnder Motivation zur aktiven Aufgabenbearbeitung und des damit einhergehenden selbstlimitierenden Verhaltens ist nicht zu unterschätzen. Testleistungen können stärker durch die Leistungsmotivation des Exploranden beeinflusst sein als durch das Vorliegen einer traumatischen Hirnverletzung (Green et al., 2001). Die Leistungsvalidierung ist deshalb unverzichtbar und insbesondere im versicherungsmedizinischen, gutachtlichen Kontext von grosser Bedeutung.

Ihr kommt ein besonders hoher Stellenwert zu bei Gesundheitsbeeinträchtigungen, die schwierig zu objektivieren und deshalb anfällig für Missbrauch im Sinne von übertriebenen oder vorgetäuschten Beschwerden oder von kognitiven Beeinträchtigungen sind. Die heute zur Verfügung stehenden Leistungsvalidierungsverfahren haben einen grossen Beitrag zur Beurteilung und Sicherstellung der Validität von in neuropsychologischen Untersuchungen erbrachten Testleistungen geleistet. In Fachkreisen besteht Einigkeit darüber, dass zur möglichst fehlerfreien Beurteilung der Leistungsvalidität eine Kombination mehrerer Leistungsvalidierungstests (LVT) notwendig ist (Bianchini et al., 2001; Boone et al., 2007; S. S. Bush et al., 2005; Heilbronner et al., 2009; Henry et al., 2009; Larrabee et al., 2007; Merten & Dettenborn, 2009; Mittenberg et al., 2002). Mit zunehmender Anzahl eingesetzter LVT steigt jedoch die Wahrscheinlichkeit eines falsch-positiven Ergebnisses. Deshalb müssen die

Anzahl durchgeführter LVT und die Anzahl auffälliger Ergebnisse bei der Beurteilung der Leistungsvalidität zwingendermassen mitberücksichtigt werden (Berthelson et al., 2013; Larrabee, 2014; Odland et al., 2015).

Viele der heute standardmässig eingesetzten Verfahren gelten als leicht durchschaubar, weshalb sie oftmals nur sehr ausgeprägt simulierendes oder aggravierendes Verhalten aufdecken können. Darüber hinaus sind Informationen zu den LVT zum Beispiel über Internetrecherchen einfach zugänglich, was die Möglichkeit bietet, sich gezielt auf einen LVT vorzubereiten (Bauer & McCaffrey, 2006; Ruiz et al., 2002). Dies führt zu einer Herabsetzung von Sensitivität und Spezifität der Verfahren (Merten, 2014). Ein ethisch bedenklicher Aspekt der bestehenden LVT ist zudem, dass oft versucht wird, Täuschung durch Täuschung aufzudecken. Um diesen vielschichtigen Problemen zu begegnen, wird in der vorliegenden Arbeit mit dem Einbezug von physiologischen Parametern wie der HR und der HRV ein neuer Ansatz vorgeschlagen, der als Ergänzung zu bestehenden LVT eingesetzt werden könnte. Dadurch kann die multimodale Herangehensweise zur Beurteilung der Leistungsvalidität erweitert und gestärkt werden.

Die vorliegende Arbeit untersuchte den Einfluss des Leistungsverhaltens auf die HR und die HRV. Dazu wurde bei 92 gesunden Probanden und 39 neurologischen Probanden während einer drei- bis vierstündigen neuropsychologischen Untersuchung die HR aufgezeichnet. Während die Hälfte der gesunden Probanden und 39 neurologische Probanden die Instruktion erhielten, bei allen Aufgaben ihre bestmögliche Leistung zu zeigen und dadurch die Aufgaben aktiv zu bearbeiten (*Active Coping*), wurde die andere Hälfte der gesunden Probanden instruiert, bei allen Aufgaben bewusst unter ihrer Leistungsgrenze zu bleiben und somit die Aufgaben nicht aktiv zu bearbeiten (*Non-Coping*).

7.1 Leistungsinstruktionsinduzierte Unterschiede in den Testleistungen zwischen den Gruppen mit gesunden Probanden

Wie aus den Gruppenunterschieden in den Testleistungen bei den neuropsychologischen Testverfahren ersichtlich wurde, zeigte die *Active Coping*-Gruppe (AC-Gruppe) bei Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit, zum Arbeitsgedächtnis, zu selektiver Aufmerksamkeit und zum Gedächtnis signifikant bessere Testleistungen als die *Non-Coping*-Gruppe (NC-Gruppe). Insgesamt erreichten die Probanden der AC-Gruppe auch einen signifikant höheren Handlungs-IQ als die Probanden der NC-Gruppe. Diese Ergebnisse bestätigen, dass die Instruktion zum Leistungsverhalten sich so auswirkte, dass die Probanden der AC-Gruppe bei der Mehrheit der Aufgaben eine signifikant bessere Leistung zeigten. Es

ist daher anzunehmen, dass es diesen Probanden gelungen ist, ein hinreichendes Leistungsverhalten zu zeigen, und sie die Aufgaben somit aktiv bearbeitet haben. Ebenfalls lässt sich ableiten, dass die Probanden der NC-Gruppe bei denselben Aufgaben ihre Leistung am erfolgreichsten zu limitieren vermochten und bewusst unter ihrer Leistungsgrenze bleiben konnten. Bei sprachlichen Aufgaben sowie bei Aufgaben zum Verständnis sozialer Normen und Konzepte, zum Allgemeinwissen oder zur verbalen und visuellen Erfassungsspanne konnten keine signifikanten Unterschiede in den Testleistungen nachgewiesen werden.

Eine mögliche Erklärung dafür, dass es den Probanden der NC-Gruppe bei Aufgaben zur selektiven Aufmerksamkeit, der Verarbeitungsgeschwindigkeit und dem Arbeitsgedächtnis erfolgreich gelang, selbstlimitierendes Leistungsverhalten zu zeigen, ist, dass die Reaktionsgeschwindigkeit ein essentieller Bestandteil für die erfolgreiche Bearbeitung dieser Aufgaben darstellte. Sich in der Geschwindigkeit der Aufgabenausführung zurückzuhalten, ist ein Entscheid, der bewusst gefällt und gut gesteuert werden kann. Vergleichbar ist auch der Abruf bei Gedächtnisaufgaben. Sollen beispielsweise Wörter einer zuvor gelernten Wortliste erneut wiedergegeben werden, kann sich der Proband bewusst dazu entscheiden, einerseits nicht alle Wörter zu nennen, die er erinnern kann. Andererseits kann er nach der Nennung der ersten Wörter sich dazu entscheiden, nicht weiter zu versuchen, mehr Wörter zu erinnern. Ein Merkmal dieser Aufgaben ist, dass sie alle sehr klar umschriebene Anforderungen haben, die das Ausmass der Aufgabe abschätzen lassen und somit erlauben, dass das Verhalten erfolgreich und effizient angepasst werden kann.

Dem gegenüber stehen Aufgaben wie Fragen zum Verständnis sozialer Normen und Konzepte, zum Allgemeinwissen oder zur verbalen und visuellen Erfassungsspanne. Dabei werden fortlaufend Fragen gestellt oder die Länge der Aufgabe wird entsprechend der Leistung adaptiert. Bei solchen Aufgaben ist es für den Probanden schwieriger abzuschätzen, wie gut seine Leistung tatsächlich ist und wie viele Fragen er beantworten muss, bis er die Aufgabe abbrechen kann, ohne dass der Untersucher Verdacht schöpft, dass er die Aufgabe nicht so gut wie möglich bearbeitet.

Dementsprechend scheinen sich Aufgaben zu eignen, bei denen die Aufgabenanforderungen übersichtlich sind und sich gut abschätzen lässt, wie man das Leistungsverhalten anpassen kann, um selbstlimitierendes Leistungsverhalten erfolgreich zu zeigen.

7.2 Leistungsinstruktionsinduzierte Unterschiede der Herzrate und der Herzratenvariabilität zwischen den beiden Gruppen gesunder Probanden

Viele Studien konnten den Zusammenhang zwischen HR sowie HRV und kognitiven Anforderungen aufzeigen und aufgabenspezifische Veränderungen nachweisen. In den bisherigen Studien wurde aber, soweit der Autorin bekannt, hauptsächlich der Unterschied zwischen Massen der HR und HRV während einer Ruhebedingung und Massen der HR und HRV während der Bearbeitung einer Aufgabe untersucht. Dabei wurden jedoch Veränderungen der HR, die über eine längere Zeitdauer hinweg geschehen und zum Beispiel durch die Nervosität (Blascovich & Mendes, 2001; Blascovich & Tomaka, 1996) zu Beginn einer Studienteilnahme beeinflusst sein können, vernachlässigt. Ebenfalls wurde bisher der Einfluss motivationaler Aspekte oder des Leistungsverhaltens auf die Veränderungen der HR und der HRV nicht einbezogen. Es wurde jedoch häufig gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen den HR- sowie den HRV-Veränderungen und der Aufgabenschwierigkeit gibt (Mukherjee et al., 2011; Overbeek et al., 2014; Veltman & Gaillard, 1996).

Basierend auf diesen Befunden stützt die vorliegende Arbeit die Annahme, dass eine aufgabenspezifische Veränderung der HR- und HRV-Parameter nur dann zustande kommt, wenn eine Aufgabe, die aktiv bewältigt werden muss, mit hinreichendem Leistungsverhalten bearbeitet wird und der Proband auf alle notwendigen ihm zur Verfügung stehenden kognitiven Prozesse zur Aufgabenbearbeitung zurückgreift. Es ist demnach anzunehmen, dass eine aufgabenspezifische Veränderung der HR- und der HRV-Parameter nur dann nachweisbar ist, wenn eine hinreichend schwierige Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet wird. Diese Annahme wird durch die Resultate der vorliegenden Arbeit gestützt. Dementsprechend zeigte sich, dass es bei Probanden, die selbstlimitierendes Leistungsverhalten zeigen, in signifikant geringerem Masse zu aufgabenspezifischen Veränderungen der HR- und HRV-Parameter kommt als bei Probanden, die die Aufgaben aktiv bearbeitet haben und versuchten, ihre bestmögliche Leistung zu zeigen.

So konnten für fünf Aufgaben signifikante Gruppenunterschiede zwischen der AC- und der NC-Gruppe in der relativen Abweichung der HR vom laufenden Mittelwert (ΔHR) gefunden werden. Diese signifikanten Gruppenunterschiede der ΔHR bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit und zur Aufmerksamkeit korrespondieren mit den signifikanten Gruppenunterschieden in den Testleistungen, die in Kapitel 7.1 beschrieben wurden. Diese Befunde implizieren, dass sich das Leistungsverhalten nicht nur

auf die Testleistung auswirkt, sondern auch zu spezifischen Veränderungen von physiologischen Prozessen führt und sich dadurch in Veränderungen der HR abbilden lässt.

Unerwartet zeigte sich auch während der Betrachtung des zweiten von vier Filmausschnitten ein signifikanter Gruppenunterschied der ΔHR . Wieso es nur bei einem von vier Filmausschnitten zu einem signifikanten Gruppenunterschied der ΔHR kam, ist unklar. Eine mögliche Erklärung ist, dass es sich bei der Betrachtung eines Filmausschnitts um eine passive Art von Aufmerksamkeitssteuerung handelt. Thayer & Lane (2000) beschreiben, dass passive Aufmerksamkeitsleistungen mit einer Verlangsamung der HR einhergehen, was durch eine Zunahme der parasympathischen respektive eine Abnahme der sympathischen Aktivität bedingt sein kann. Die Inspektion der Daten zeigte, dass ΔHR bei der AC-Gruppe stärker abnahm. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass bei den Probanden der AC-Gruppe die kognitiven Anforderungen über die gesamte Untersuchungsdauer hinweg zu einer grösseren Variabilität der Aktivität des autonomen Nervensystems führten und daher sowohl die Zunahme als auch die Abnahme der HR im Vergleich zum relativen Mittelwert ausgeprägter war. Dieser Erklärungsansatz ist auch mit dem CAN (Benarroch, 1993, 2014; Palma & Benarroch, 2014) und dem Modell der neuroviszeralen Integration vereinbar (Park & Thayer, 2014; Thayer & Lane, 2000, 2009). Diese Annahme wird ebenfalls durch die Resultate der Faktor- und Diskriminanzanalyse unterstützt. Eine weiterführende Diskussion dazu ist dementsprechend im Kapitel 7.3 zu finden.

Für die frequenzbasierten Messwerte konnte lediglich für den Zahlen-Symbol-Test ein signifikanter Gruppenunterschied nachgewiesen werden. Obwohl ein Zusammenhang zwischen kognitiven Prozessen und autonomer Aktivierung unbestritten ist, könnten diese Resultate Ausdruck dessen sein, dass mit den bisherigen Analysemethoden nicht die gesamte Dynamik der neurophysiologischen Veränderungen erfasst werden kann (Golland et al., 2014). Bei der Untersuchung von Mittelwertsunterschieden zwischen einer Ruhebedingung und einer Aufgabe mit hoher Aufgabenschwierigkeit können möglicherweise nur Veränderungen der HR und der HRV während der Bearbeitung von Aufgaben festgestellt werden, die konstante und hohe Anforderungen an kognitive Prozesse stellen. Diese Ansicht wird durch Golland et al. (2014) bestärkt. Sie merken an, dass in der führenden Methodologie für die Berechnung des Mittelwerts von Zeit- und Frequenzbereichsparametern hauptsächlich zwei Ansätze verfolgt werden, nämlich einerseits die Mittelung der ANS-Reaktion über viele kurze Stimuli und andererseits die Berechnung des Mittelwerts über eine etwas längere Zeitspanne. Die dazu nötigen Voraussetzungen seien jedoch oft nicht gegeben (Golland et al., 2014).

Diese Methodenkritik von Golland et al. (2014) bezieht sich zwar auf Veränderungen der HR und der HRV bei Emotionsverarbeitungsprozessen. Sie kann aber auch für kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeit, Verarbeitungsgeschwindigkeit oder Arbeitsgedächtnis angewendet werden. Emotionale Erlebnisse wie auch die Bearbeitung neuropsychologischer Testaufgaben sind abhängig von einer komplexen Interaktion zentralnervöser und autonomer Prozesse. Dies ermöglicht eine effiziente Anpassung an sich schnell verändernde interne und externe Anforderungen (Benarroch, 1993; Critchley, 2005; Palma & Benarroch, 2014; Thayer et al., 2012). Um dieser Dynamik gerecht zu werden, schlagen Golland et al. (2014) vor, dass neue Ansätze der Versuchsplanung und der Datenanalyse in Betracht gezogen werden müssen, die eben diese Dynamik abbilden können. Ein solcher Ansatz sei die fortlaufende Beobachtung der autonomen Aktivität, zum Beispiel anhand der unmittelbaren Veränderungen der kardiovaskulären Reaktivitätsparameter, wodurch auch der zeitliche Aspekt dieser physiologischen Veränderungen miteinbezogen wird (Golland et al., 2014). Diese Art der Datenanalyse scheint bisher vor allem im Bereich der Emotionsverarbeitung Einzug gehalten zu haben. Eine solche Herangehensweise scheint aber in Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse auch für kognitiv fordernde Aufgaben vielversprechend zu sein.

Golland et al. (2014) streichen zudem heraus, dass Faktoren wie die Umgebungstemperatur, der zirkadiane Rhythmus oder die Körperhaltung zu stimulusunspezifischen Veränderungen der HR und der HRV führen können (Berntson & Cacioppo, 2000; Stemmler, 2004). Während diese Faktoren bei Gruppenvergleichen nicht so sehr ins Gewicht fallen, da sie aufgabenunspezifisch sind und dadurch die Bildung des Gruppenmittelwerts nicht so stark beeinflussen, könnten sie bei Nichtberücksichtigung bei der Analyse der individuellen Verläufe der HR während der Bearbeitung der Aufgaben zu Verzerrungen führen. Durch die Glättung der ΔHR sollte der Einfluss kurzfristiger, aufgabenunspezifischer Veränderungen minimiert werden, sodass aufgabenspezifische Veränderungen der HR über die Dauer der Aufgabe hinweg analysiert werden können und aufgabenspezifische Verläufe der trendbereinigten und geglätteten HR (ΔsHR) für verschiedene Leistungsverhalten identifiziert werden können.

7.3 Identifikation aufgabenspezifischer Veränderungen der Herzrate

Um die dynamischen Veränderungen der autonomen Aktivität in ihrer Vielfalt sowie Unterschiede in Abhängigkeit des Leistungsverhaltens identifizieren zu können, wurde in dieser Studie eine neue Herangehensweise zur Analyse der HR und HRV vorgestellt. Anhand der ΔsHR -Zeitreihen der AC-Probanden wurden AC-spezifische Veränderungen dieser

Zeitreihen (Faktoren) für ausgewählte Aufgaben identifiziert. Die statistische Parametrisierung AC-spezifischer Faktoren ermöglichte es, die zeitliche Charakteristik der Δ SHR zu untersuchen und zu beurteilen. Durch die Korrelation der Δ SHR-Zeitreihe der gesunden Probanden mit den AC-spezifischen Faktoren konnten Korrelationskoeffizienten berechnet werden, welche die Ähnlichkeit der individuellen Δ SHR mit den AC-spezifischen Faktoren angeben und somit die zeitliche Charakteristik der individuellen Δ SHR berücksichtigen. Dass eine Parametrisierung aufgabenspezifischer Faktoren möglich ist, zeigte die Validierung der Faktoren des Zahlen-Symbol-Tests mit einer Validierungsstichprobe (NEmo-Gruppe). Die sehr starken Korrelationen zwischen den Faktoren der NEmo-Gruppe und den Faktoren der AC-Gruppe weisen deutlich darauf hin, dass diese Komponenten AC-spezifische Veränderungen der Δ SHR widerspiegeln. Durch eine Kombination von fünf Korrelationskoeffizienten erfolgte anhand einer Diskriminanzfunktion die Klassifizierung zur Leistungsinstruktion (AC oder NC). Anhand derer konnten die gesunden Probanden der AC-Gruppe mit einer Sicherheit von 85% korrekt der AC-Bedingung zugeordnet werden (Sensitivität). Die Probanden der NC-Gruppe konnten mit einer Sicherheit von 81.1% der NC-Bedingung zugeordnet werden (Spezifität).

Die Diskriminanzanalyse zur Bestimmung der Diskriminanzfunktion wurde nach einem blockweisen Verfahren durchgeführt, damit nur diejenigen Korrelationskoeffizienten für die Funktion berücksichtigt werden, die einen entscheidenden Beitrag zur Klassifizierung leisten. Alle berücksichtigten Faktoren entstammen den Aufgaben Zahlen-Symbol-Test und Ruff 2&7-Durchstreichtest. Diese Aufgaben werden hauptsächlich zur Untersuchung der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Aufmerksamkeit eingesetzt.

Die Faktoren, die von der Zeitreihe während der Betrachtung eines Landschaftsfilms extrahiert wurden, wurden in der Diskriminanzanalyse nicht berücksichtigt, da sie nicht entscheidend zur Verbesserung der Diskriminierungsfunktion beigetragen haben. Dies weist darauf hin, dass sich bei Aufgaben, die nicht kognitiv fordernd sind, wie das Betrachten von Landschaftsaufnahmen, zwar Unterschiede in der relativen Abweichung vom Mittelwert ergeben können, diese jedoch nicht durch die Aufgabenbearbeitung bedingt sind, sondern möglicherweise als Reaktion auf eine vorangegangene kognitive Anforderung zustande kommen, wie in Kapitel 7.2. bereits angemerkt wurde. In der vorliegenden Studie wurden die Filmausschnitte jeweils vor und nach einer Aufgabe zur mentalen Arithmetik ganz zu Beginn und vor dem Ende der gesamten Untersuchung durchgeführt. Der zweite von vier Ausschnitten, dessen Betrachtung zu einem signifikanten Unterschied der Δ HR führte, wurde nach der ersten Aufgabe zur mentalen Arithmetik durchgeführt. Daher ist anzunehmen, dass

die autonome Reaktion der Probanden der AC-Gruppen als physiologische Reaktion auf das Wegfallen der kognitiven Anforderungen der vorangehenden Aufgabe zu verstehen ist. Die Probanden der NC-Gruppe zeigten möglicherweise eine schwächere physiologische Reaktion als die Probanden der AC-Gruppe, da sie die Aufgabe zur mentalen Arithmetik mit selbstlimitierendem Leistungsverhalten bearbeiteten und der Unterschied zwischen den Anforderungsniveaus der beiden Aufgaben für die Probanden der NC-Gruppe dadurch geringer ist. Demnach widerspiegeln die AC-spezifischen Faktoren anforderungsunspezifische Verläufe der Δ SHR. Dies korrespondiert damit, dass die Faktoren des Filmausschnitts nicht signifikant zur Diskriminierung der beiden Gruppen mit gesunden Probanden beitragen und deshalb nicht für die Diskriminanzfunktion berücksichtigt wurden.

Die Diskriminanzfunktion basierend auf fünf AC-spezifischen Faktoren, die aus dem Zahlen-Symbol-Test und dem Ruff 2&7-Durchstreichtest extrahiert werden konnten, lässt eine zuverlässige Zuteilung der gesunden Probanden zur jeweiligen Instruktionsbedingung vornehmen. Diese Zuteilung zur Instruktionsbedingung erlaubt es dementsprechend, selbstlimitierendes Leistungsverhalten zu entdecken und von hinreichendem Leistungsverhalten zu unterscheiden.

Um diese Rückschlüsse nicht nur für Probanden ohne Hirnverletzung ziehen zu können, wurde in einem weiteren Schritt untersucht, inwiefern sich die neurologischen Patienten den beiden Instruktionsbedingungen zuordnen lassen.

7.4 Klassifizierung der neurologischen Patienten zu den Instruktionsbedingungen

Wie die Probanden der AC-Gruppe haben die neurologischen Patienten ebenfalls die Instruktion erhalten, ihre bestmögliche Leistung bei der Aufgabenbearbeitung zu zeigen. Unter der Annahme, dass die neurologischen Patienten die Aufgaben mit mindestens hinreichendem Leistungsverhalten bearbeitet haben, sollten möglichst viele Probanden der NP-Gruppe der AC-Bedingung zugeordnet werden können. Im Gegensatz zu den gesunden Probanden, bei denen die Zuweisung zur Instruktionsbedingung mit hoher Sicherheit vorgenommen werden konnte, liessen sich die Probanden der NP-Gruppe jedoch nur zufällig einer der beiden Bedingungen zuweisen. Dabei unterschieden sich die Probanden, die der AC-Bedingung zugeordnet wurden, nicht signifikant hinsichtlich Alter, Bildung oder Testleistungen von den Probanden der NP-Gruppe, die der NC-Bedingung zugeordnet wurden.

Weiter konnten keine signifikanten Unterschiede in der HR-Reaktivität zwischen den NP-Probanden, die der AC-Bedingung zugeordnet wurden, und den NP-Probanden, die der

NC-Bedingung zugeordnet wurden, festgestellt werden. Ebenfalls zeigten sich auch keine signifikanten Unterschiede in der HR-Reaktivität zwischen den gesunden Probanden und den Probanden der NP-Gruppe. Obwohl Verletzungen des Gehirns zu Veränderungen der HR und HRV führen können (Dorrance & Fink, 2015), kann basierend auf diesen Befunden nicht auf eine grundsätzliche pathologische Veränderung der HR-Reaktivität bei neurologischen Patienten geschlossen werden und dient dementsprechend nicht als Erklärung für die unsichere Zuteilung der neurologischen Patienten zu den beiden Bedingungen des Leistungsverhaltens.

Als mögliche Erklärung für dieses Ergebnis können dennoch die unterschiedlichen Pathologien, die bei den Probanden der NP-Gruppe vorlagen, diskutiert werden. So ist, wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, bekannt, dass Verletzungen des Gehirns zu Veränderungen der HR und der HRV führen können (Dorrance & Fink, 2015). Aus der bisherigen Literatur lassen sich aktuell jedoch keine spezifischen Veränderungen der HR und der HRV, die mit umschriebenen Läsionen einhergehen, ableiten. Zwar gibt es Studien, die spezifische Veränderungen mit spezifischen Läsionen in Verbindung bringen (z.B. de Morree, Rutten, Szabó, Sitskoorn & Kop, 2016; Walter et al., 2013; Xiong et al., 2013; Xu, Wang, Yang, Zhou & Pan, 2016) oder durch die Stimulation spezifischer Hirnregionen hervorrufen können (Chiou et al., 2009; Oppenheimer et al., 1992). In der Praxis sind die Läsionen der Patienten jedoch häufig nicht deutlich umschrieben, sodass es oftmals schwierig ist, darauf aufbauend konkrete Vorhersagen zu treffen. Durch die Heterogenität der Läsionen der untersuchten Stichprobe, die von leichten Schädel-Hirn-Traumata ohne erkennbare neurologische Ursache bis zu weit distribuierten Läsionen kortikaler und subkortikaler Strukturen reichen, ist eine läsionsspezifische Aussage zu Veränderungen der HR und HRV praktisch unmöglich.

Eine weitere Erklärung bietet die Auffassung, dass sowohl die Ausführung von kognitiven Funktionen als auch die Regulation der Herztätigkeit durch ein komplexes Netzwerk unterschiedlichster Strukturen gesteuert wird (Critchley, 2009; Smith et al., 2017; Thayer et al., 2012). Die Komplexität dieses Netzwerks erschwert es ebenfalls beträchtlich, auf der Basis des Läsionsortes oder der Art der Läsion Rückschlüsse auf die Art und Weise der Veränderungen der HR und HRV ziehen zu können. Bisherige Studien zu Veränderungen der HR und HRV bei neurologischen Patienten haben standardisierte HR- und HRV-Parameter wie SDNN, RMSSD, LF, HF oder LF/HF untersucht (z.B. de Morree et al., 2016; Keren et al., 2005; Meglic, Kobal, Osredkar & Pogacnik, 2001). Wie sich Hirnverletzungen auf den kontinuierlichen Verlauf der HR auswirken, wurde nach Wissen der Autorin bisher nicht untersucht.

Basierend auf der vorliegenden heterogenen Stichprobe der neurologischen Patienten ist es jedoch nicht möglich zu beurteilen, ob Läsionen einen spezifischen Einfluss auf den Verlauf der Δ HR haben und ob durch gewisse Läsionen ein abweichendes Reaktivitätsmuster erzeugt wird, das nicht demjenigen entspricht, das durch die AC-spezifischen Faktoren extrahiert werden konnte.

7.5 Methodische Erwägungen

Bisher durchgeführte Studien untersuchten die von der Task Force (1996) vorgeschlagenen zeit- und frequenzbasierten HRV-Parameter. Viele dieser Arbeiten konnten für die Bearbeitung einer Vielfalt kognitiv fordernder Aufgaben wie beispielsweise für Aufgaben zur Handlungsplanung (Stuiver et al., 2012), zur Verarbeitungsgeschwindigkeit (Durantin et al., 2014), zum Arbeitsgedächtnis (Durantin et al., 2014; Mukherjee et al., 2011; Veltman & Gaillard, 1996) oder zur Aufmerksamkeit (Luque-Casado et al., 2013; Wood et al., 2002) einen Anstieg der HR sowie eine Abnahme der HRV nachweisen. In der vorliegenden Studie konnten diese Befunde hauptsächlich für Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit und zur Aufmerksamkeit gefunden werden. Signifikante Unterschiede der HR und der HRV zwischen den Probanden der NC-Gruppe und der AC-Gruppe deuten darauf hin, dass aufgabenspezifisch Veränderungen der HR und einiger HRV-Parameter in Abhängigkeit der AC-Instruktion auftraten, die sich für die NC-Instruktion so nicht zeigen liessen.

In vielen Studien wird insbesondere bei den frequenzbasierten Parametern versucht, Rückschlüsse auf die zugrunde liegende sympathische und parasympathische Aktivität zu ziehen (Reyes del Paso et al., 2013). Es ist aber hauptsächlich bei LF und LF/HF umstritten, welche Anteile an autonomer Aktivität sich in welchem Ausmass widerspiegeln (u.a. Billman, 2011, 2013; Heathers, 2014; Reyes del Paso et al., 2013; Task Force, 1996). Übereinstimmend mit Golland et al. (2014) unterstützt die vorliegende Arbeit daher die Annahme, dass Veränderungen der HR und der HRV-Parameter durch die Betrachtung eines singulären Werts über die gesamte Aufgabendauer der zeitlichen Dynamik der autonomen Reaktivität nicht gerecht werden, weshalb ein Analyseansatz verfolgt werden sollte, der die zeitliche Dynamik stärker berücksichtigt. Mit der in dieser Studie gezeigten Herangehensweise wurde für kognitive Prozesse ein erster Schritt in diese Richtung gemacht.

Mit der Durchführung der Hauptkomponentenanalyse wurden aufgabenspezifische Veränderungen der HR herausgearbeitet. Da nur Probanden der AC-Bedingung berücksichtigt wurden, widerspiegeln die abgeleiteten Faktoren Veränderungen, die zwar aufgabenspezifisch

sind, sich jedoch nur zeigen, wenn der Explorand ein hinreichendes Leistungsverhalten zeigt. Wäre dies nicht der Fall, wäre eine Klassifikation basierend auf den Korrelationskoeffizienten nicht möglich, da diese dann unabhängig von der Gruppenzuteilung wären.

Die Annahme, dass es zu AC-spezifischen Veränderungen der Δ SHR kommt, wird ebenfalls durch die sehr hohe Korrelation zwischen den Faktoren der Validierungsstichprobe der NEmo-Gruppe und den Faktoren der AC-Gruppe gestützt. Eine weitere Unterstützung dieser Annahme liefert Abbildung 13, welche die Überlagerung der mittleren Verläufe der Δ SHR der Probanden, die korrekterweise der AC-Bedingung zugeordnet worden waren, und der Δ SHR der Probanden der Validierungsstichprobe eindrücklich aufzeigt. Des Weiteren ist der Abbildung 13 zu entnehmen, dass die Probanden der NP-Gruppe, die ebenfalls der AC-Gruppe zugeordnet worden waren, einen sehr ähnlichen mittleren Verlauf der Δ SHR zeigen wie die Probanden der AC-Gruppe, jedoch deutlich flacher. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass durch die Hirnverletzung zwar eine Abnahme autonomer Aktivität zustande kommt, diese jedoch nicht zwingend die Art und Weise der Anpassung der HR an internale und externale Anforderungen verändert. Dem gegenüber steht ein deutlich anderer mittlerer Verlauf der Δ SHR der NC-Probanden, die korrekterweise der NC-Gruppe zugeordnet worden waren. Diese beiden unterschiedlichen Verlaufsformen der Δ SHR während des Zahlen-Symbol-Tests weisen darauf hin, dass sich AC-spezifische Veränderungen der Δ SHR objektivieren lassen. Diese lassen sich dank berechenbaren Korrelationskoeffizienten bei gesunden Probanden erfolgreich zur Diskriminierung zwischen Personen mit hinreichendem Leistungsverhalten und Personen mit selbstlimitierendem Leistungsverhalten einsetzen. Die beiden Verläufe der Δ SHR, die sich in Abhängigkeit der Instruktionsbedingung objektivieren liessen, konnten auch bei den neurologischen Probanden gefunden werden. Jedoch ist es nach wie vor unklar, ob die beiden spezifischen Verläufe bei den neurologischen Patienten ebenfalls als Indikator für das Leistungsverhalten interpretiert werden können, oder ob diese durch beispielsweise läsionsspezifische Einflüsse bedingt sind.

8 Implikationen für Forschung, neuropsychologische Diagnostik und Recht

Die vorliegende Dissertation soll nicht nur zu neuen Ansätzen für die Forschung zur Leistungsvalidierung beitragen, sondern auch die kritische Diskussion der Verfahren zur Leistungsvalidierung im klinisch-neuropsychologischen und im juristischen Kontext fördern. Diese Punkte werden in den folgenden Unterkapiteln ausgeführt und im politischen und medialen Kontext diskutiert.

8.1 Implikationen für die Forschung zur Leistungsvalidierung

Die Aufarbeitung der Literatur zur Beschwerdenvalidierung hat gezeigt, dass es notwendig ist, auch im deutschen Sprachraum eine Unterteilung in Beschwerdenvalidierung und Leistungsvalidierung vorzunehmen, da der Begriff Beschwerdenvalidierung ungenau ist. Die Einführung des Begriffs Leistungsvalidierung ermöglicht eine differenziertere Beurteilung und Beschreibung der Leistung sowie der vorgetragenen Beschwerden. Dadurch soll auch die kritische Auseinandersetzung mit der Leistungs- und Beschwerdenvalidierung gefördert werden.

Die moderne Technologie zur Aufzeichnung der HR ermöglicht einen einfachen und niederschweligen Einsatz entsprechender Messgeräte in der Forschung. Ein grosser Vorteil des psychophysiologischen Ansatzes zur Leistungsvalidierung ist die Objektivität psychophysiologischer Parameter wie der HR und der HRV. Obwohl die Resultate der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der neurologischen Patienten keine eindeutige Befundlage ergeben, scheint es erfolgversprechend, diesen Ansatz weiter zu verfolgen. Denn gesunde Probanden konnten mit einer Wahrscheinlichkeit von 83.1% der korrekten Instruktionsbedingung zugeordnet werden. Insgesamt wurden 85% der Probanden der AC-Gruppe korrekt der AC-Bedingung zugeordnet, was einer hohen Sensitivität entspricht. Ebenfalls wurden 81.1% der Probanden der NC-Gruppe korrekt der NC-Bedingung zugeteilt, was einer hohen Spezifität gleichkommt.

Leistungsvalidierungstests werden für die Entdeckung von selbstlimitierendem Verhalten konzipiert. Mit dem vorgestellten neuropsychophysiologischen Ansatz wurden 81.1% der Probanden entdeckt, die selbstlimitierendes Verhalten gezeigt hatten. Dies gilt, insbesondere unter Einbezug der ebenfalls hohen richtig-positiven Klassifikation (85%) der Probanden mit hinreichendem Leistungsverhalten, als erfolgreich und legt nahe, dass die Verwendung der Δ SHR als Indikator für das gezeigte Leistungsverhalten sinnvoll ist.

Weiter sollte in Zukunft bei der Entwicklung von LVT darauf geachtet werden, dass Probanden nicht nur instruiert werden, eine Krankheit vorzutäuschen oder deutlich ungenügende Testleistungen zu zeigen, sondern einige Probanden auch instruiert werden, lediglich unter ihrer individuellen Leistungsgrenze zu bleiben, wie dies in der vorliegenden Studie gemacht wurde. Dies im Unterschied zur Entwicklung vieler bisheriger LVT, bei denen gesunde Probanden instruiert wurden, ein spezifisches Beschwerdebild vorzutäuschen und so möglichst schlecht abzuschneiden. Diese Art der Testkonzeption bildet das Kontinuum von Aggravation und Simulation (Miller, 2001) nicht ab und vernachlässigt dadurch Exploranden, die selbstlimitierendes Verhalten in geringerem Ausmass zeigen.

Die hier präsentierte Studie bestätigt hingegen, dass die Instruktion, unter der individuellen Leistungsgrenze zu bleiben, aber die Aufgabe dennoch zu bearbeiten, durchaus zu aufgabenspezifischen Unterschieden in der Testleistung führt und dementsprechend nicht-authentisches Leistungsverhalten nahelegt. Bei der Betrachtung der Testleistungen zeigte sich, dass die Probanden der NC-Gruppe bei vielen Aufgaben zwar eine signifikant schlechtere Testleistung erbrachten als die Probanden der AC-Gruppe, der Gruppenmittelwert der Testleistungen der NC-Gruppe jedoch auf klinischer testdiagnostischer Ebene nicht unterdurchschnittlich war. Dies wiederum bestätigt die Aussage von Iverson (2006), dass unauffällige (LVT-)Ergebnisse nicht zwingend als authentisch bewertet werden können und differenziert beurteilt werden müssen. Diese Aussage wird insbesondere dadurch unterstützt, dass im eingesetzten Verfahren Bremer Symptom-Validierung lediglich ein Proband der NC-Gruppe sowie ein Proband der NP-Gruppe auffällige Testleistungen zeigten. Basierend auf den bisher angewendeten Standards würde in allen anderen Fällen von authentischen Testleistungen mit hinreichendem Leistungsverhalten ausgegangen werden.

Durch das vorgeschlagene Verfahren der Parametrisierung der individuellen HR-Zeitreihen an normativen Verläufen kann selbst-limitierendes Leistungsverhalten auch auf physiologischer Ebene entdeckt werden und trägt so zu einer besseren Beurteilung des Leistungsverhaltens von Exploranden bei, weshalb es wichtig ist, den eingeschlagenen Weg des Leistungsverhaltens über psychophysiologische Messwerte in künftigen Arbeiten zur Leistungsvalidierung zu berücksichtigen.

8.2 Implikationen für neuropsychologische Untersuchungen in der Praxis

Aus den präsentierten Resultaten lassen sich sowohl wichtige Punkte für die Interpretation von Testergebnissen als auch zukünftige Entwicklungsideen ableiten. Die Analyse der Testleistungen zwischen den beiden Gruppen mit gesunden Probanden hat zur Identifikation von Aufgaben geführt, die besonders anfällig für selbstlimitierendes Verhalten zu sein scheinen. Für die neuropsychologische Untersuchung und die Interpretation von Testergebnissen ist es daher von Bedeutung zu beachten, dass selbstlimitierendes Leistungsverhalten insbesondere bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit, zum Arbeitsgedächtnis, zur selektiven Aufmerksamkeit und zum Gedächtnis einen Einfluss auf die Testleistung hat. Im Gegensatz dazu gelang es den Probanden der NC-Gruppe nicht, ihre Leistung bei Aufgaben zur Sprachproduktion oder beim Abrufen von Wissensinhalten erfolgreich zu limitieren.

Um ungültige Testprofile aufgrund von selbstlimitierendem Verhalten entdecken zu können, wird in dieser Arbeit mit der Analyse der HR und der HRV ergänzend zu bisherigen Vorgehensweisen ein neues Verfahren zur Leistungsvalidierung vorgeschlagen. Dieses Verfahren zur Leistungsvalidierung ist mit den bisherigen Verfahren problemlos kombinierbar. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde neben der Analyse der HR und der HRV mit der Bremer Symptom-Validierung ein häufig verwendeter LVT eingesetzt. Bei diesem Verfahren zeigten von allen 131 Probanden lediglich ein Proband der NC- und ein Proband der NP-Gruppe eine auffällige Testleistung. Alle anderen Probanden zeigten bei der Bremer Symptom-Validierung eine unauffällige Testleistung. Dies deutet darauf hin, dass mit standardmässig eingesetzten Verfahren insbesondere Testleistungen entdeckt werden, die durch sehr stark selbstlimitierendes Verhalten in Form von Simulation oder Aggravation entstehen. Testleistungen, die durch weniger stark ausgeprägtes selbstlimitierendes Verhalten zustande kommen, werden hingegen nicht entdeckt. Dieses Ergebnis stellt die Validität der Bremer Symptom-Validierung erheblich in Frage, sodass möglicherweise nicht nur die Resultate der Bremer Symptom-Validierung, sondern auch jene weiterer Alternativwahlverfahren in Zukunft kritisch interpretiert werden müssen. Umso wichtiger ist es, dass neue und gut validierte Verfahren zur Erkennung von selbstlimitierendem Leistungsverhalten eingesetzt werden, die auch weniger ausgeprägtes selbstlimitierendes Leistungsverhalten entdecken können.

Das in dieser Arbeit vorgeschlagene psychophysiologische Verfahren zur Leistungsvalidierung entdeckt mit einer Wahrscheinlichkeit von 85% authentisches Leistungsverhalten als solches (Sensitivität) und mit einer Wahrscheinlichkeit von 81.1% selbstlimitierendes Leistungsverhalten als solches (Spezifität). Durchschnittlich entdecken bisherige LVT mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% selbstlimitierendes Leistungsverhalten und lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von 69% authentisches Leistungsverhalten (Sollman & Berry, 2011). Die Berechnung dieser Werte basiert jedoch auf Stichproben, bei denen gesunde Probanden instruiert wurden, ein spezifisches Beschwerdebild vorzutäuschen und so möglichst schlecht abzuschneiden. Diese Probanden zeigen somit deutlich stärker ausgeprägtes selbstlimitierendes Verhalten als die Probanden der vorliegenden Studie, welches dementsprechend einfacher erkannt wird. Diese Art der Testkonzeption bildet das Kontinuum von Aggravation und Simulation (Miller, 2001) nicht ab und vernachlässigt dadurch Exploranden, die selbstlimitierendes Verhalten in geringerem Ausmass zeigen, wodurch weniger stark ausgeprägtes selbstlimitierendes Verhalten durch diese Verfahren nicht entdeckt wird. Dies wird dadurch bestätigt, dass anhand der Bremer Symptom-

Validierung in der vorliegenden Stichprobe lediglich bei einem Probanden der NC-Gruppe und einem Probanden der NP-Gruppe selbstlimitierendes Leistungsverhalten identifiziert wurde.

Für die Beurteilung der Leistungsvalidität sollte deshalb eine multimodale Herangehensweise gefördert werden (S. S. Bush, 2009; S. S. Bush et al., 2005; Merten, 2014; Slick & Sherman, 2013), welche physiologische Messwerte einbezieht und mit den weitverbreiteten Slick-Kriterien (Slick & Sherman, 2013; Slick et al., 1999) gut vereinbar ist. Mit der Analyse der Veränderung der Herzrate während der Bearbeitung mehrerer Aufgaben können Informationen zum Leistungsverhalten zu verschiedenen Zeitpunkten der Untersuchung gewonnen werden. Dies ermöglicht eine umfassendere Aussage zur Leistungsvalidität, da ein zusätzliches und unabhängiges Verfahren eingesetzt wird, das zusätzlich Informationen von mehreren Zeitpunkten während der Untersuchung miteinbezieht. Somit können auch Veränderungen des Leistungsverhaltens im Verlauf der Untersuchung berücksichtigt werden. Dies ist insofern von hoher Wichtigkeit, als sich die Motivation des Exploranden und dadurch dessen Leistungsverhalten und die Leistungsvalidität während der Untersuchung dynamisch verhalten.

Einen Erklärungsansatz der Dynamik des Leistungsverhaltens bieten die neuen Theorien zum subjektiven Gefühl mentaler Anstrengung. Mit zunehmender Untersuchungsdauer können die subjektiv erlebten Kosten für die Bearbeitung einzelner Aufgaben oder für die Kooperativität während der gesamten Untersuchungsdauer an sich ansteigen und der subjektiv erlebte Nutzen kann abnehmen. Dies führt zu einem verstärkten subjektiven Gefühl mentaler Anstrengung, was den Exploranden dazu motivieren kann, eine Aufgabe nicht länger aktiv und dadurch nicht mit hinreichendem Leistungsverhalten zu bearbeiten. Dies hat wiederum zur Folge, dass sich während der Bearbeitung dieser Aufgabe keine Veränderung der Herzrate zeigen würde, die mit der aktiven Aufgabenbearbeitung in Verbindung stehen würde.

Wird die Beurteilung des Leistungsverhaltens anhand von Grenzwerten, wie sie bei den Alternativwahlverfahren eingesetzt werden, durchgeführt, führt dies zu einer artifiziellen Dichotomie, wobei immer auch die Gefahr von Fehlklassifizierung besteht. Denn die Gefahr von unwahren Resultaten besteht und ein Resultat bildet somit nicht in jedem Fall das tatsächliche Verhalten ab (Dwyer, 1996). Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode zur Klassifikation von Exploranden hinsichtlich ihres Leistungsverhaltens basierend auf einer Diskriminanzfunktion ermöglicht, neben der dichotomen Einteilung, auch die Angabe der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Explorand der zugeordneten Gruppe angehört. Dies ist auch in

Abbildung 12 dargestellt. Dadurch erlaubt diese Methode, dass je nach Resultat eine kritische Beurteilung erfolgt oder das Leistungsverhalten bei einer Wahrscheinlichkeit um 50% nicht abschliessend beurteilt werden kann. Dadurch kann die Gefahr von Fehlklassifizierungen, die bei einer artifiziellen Dichotomie besteht, verringert werden.

Ein weiterer Vorteil physiologischer Methoden zur Leistungsvalidierung ist, dass dem Exploranden offen kommuniziert werden kann, dass durch die Aufzeichnung der HR sein Leistungsverhalten registriert wird. Dies löst das ethische Dilemma bisheriger LVT, bei denen vielfach Täuschung durch Täuschung aufgedeckt wird. Durch die offene Kommunikation, dass die HR-Daten zur Leistungsvalidierung eingesetzt werden, besteht keine Gefahr, dass Exploranden das Verfahren durchschauen, was bei bisherigen Verfahren zu Einschränkungen der Sensitivität und Spezifität führte.

Die Gefahr der Kumulation falsch positiver Ergebnisse bei der Durchführung multipler Testverfahren bleibt auch durch den Einsatz neuropsychophysiologischer Methoden bestehen. Diese Fehlerquelle kann jedoch reduziert werden, da diese Methode vollständig unabhängig von den anderen eingesetzten LVT ist (Odland et al., 2015).

Ein Vorteil der neuen Technologien zur Erfassung der HR wie zum Beispiel von Pulsuhren, Handys oder T-Shirts mit integrierten Textilelektroden besteht darin, dass während der Untersuchung kein zusätzlicher Zeitaufwand am Patienten entsteht und die Technologien ohne Zusatzaufwand in jedem Untersuchungszimmer unmittelbar einsetzbar sind.

8.3 Rechtliche und politische Aspekte

Die vorliegende Arbeit bietet einen fundierten Überblick zum aktuellen Stand der Leistungsvalidierung im deutschsprachigen Raum. Darüber hinaus werden kritische Punkte bei der Beurteilung der Leistungsvalidität und von erhobenen Minderleistungen im Rahmen neuropsychologischer Untersuchungen diskutiert. Dadurch bietet diese Arbeit einen Leitfaden für die Leistungsvalidierung, der auch für Rechtsanwender von Bedeutung ist, da die Stärken und Schwächen von verschiedenen Herangehensweisen zur Leistungsvalidierung aufgezeigt werden sowie eine differenzierte Auseinandersetzung mit der Leistungsvalidierung gefördert wird. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil die Prävalenz ungültiger Testprofile bei Patientengruppen mit leichten Schädel-Hirn-Traumata, Fibromyalgie und chronischem Müdigkeitssyndrom (engl. *chronic fatigue syndrom*) deutlich höher ist (Larrabee, 2003; Mittenberg et al., 2002). Eine Prävalenzschätzung im deutschen Sprachraum zeigte, dass bei neurologischen und psychologischen Untersuchungen, die im rechtlichen oder versicherungsmedizinischen Kontext stattfanden, 44% aller Exploranden auffällige

Testergebnisse aufwiesen, die auf selbstlimitierendes Leistungsverhalten hinweisen (Stevens et al., 2008). Diese Erkenntnis unterstreicht, wie wichtig es ist, die differenzierte Beurteilung der Leistungsvalidierung voranzutreiben. Es ist daher auch für Rechtsanwender von grossem Interesse, damit diese die Qualität der Leistungsvalidierung beurteilen und die Interpretation der sachverständigen Neuropsychologen nachvollziehen können.

In den letzten Jahren wurde in der Politik und in den Medien wie auch in der Öffentlichkeit vermehrt die Frage nach ungerechtfertigten Bezügen von Sozialhilfe- und Versicherungsleistungen gestellt. Es besteht die Gefahr, dass insbesondere Menschen mit schwer objektivierbaren Gesundheitsstörungen unter Generalverdacht gestellt werden und ihnen vorgeworfen wird, dass sie betrügen (J. Kool et al., 2008). Ein sensibler Umgang mit der Thematik Leistungsvalidität in der Öffentlichkeit sowie eine differenzierte Anwendung von LVT und deren kritische Interpretation sind daher unumgänglich.

9 Limitationen

Um möglichst viele unterschiedliche neurologische Pathologien in der Arbeit zu vereinen und nicht nur auf eine spezifische Verletzung oder Erkrankung des Gehirns zu fokussieren, wurde eine heterogene Stichprobe neurologischer Patienten rekrutiert. Dies hat jedoch dazu geführt, dass durch die Heterogenität der Läsionsarten und -orte wenig Rückschlüsse gezogen werden können und damit die Generalisierbarkeit für neurologische Patienten erheblich limitiert wird. Es können keine zuverlässigen Aussagen über Unterschiede zwischen Patienten getätigt werden, was die Aussagekraft für die Patientenpopulation im Gegensatz zur gesunden Population erheblich senkt. Aus diesem Grund ist eine Validierungsstudie, bei der spezifische Patientenpopulationen mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methode untersucht werden, unumgänglich, bevor der Einsatz in klinischen Untersuchungen in Erwägung gezogen wird.

In dieser Arbeit wurden für die Analyse der Δ SHR Aufgaben miteinbezogen, die eine hohe Diskriminationsrate erwarten liessen. Auf dieser Grundlage könnte die Analyse in einem weiteren Schritt auf weitere Aufgaben ausgeweitet werden, um deren Diskriminationsfähigkeit nutzbar zu machen.

Komplexe Wechselwirkungen zwischen autonomen und peripheren Prozessen wie Bewegungen sind schwer auszuschliessen. Obwohl durch die zeitliche Glättung der Daten versucht wurde, die Wirkung aufgabenunspezifischer autonomer sowie peripherer Prozesse möglichst konsequent zu kontrollieren, besteht die Möglichkeit, dass sie Störvariablen

darstellen. In weiterführenden Analysen könnten zusätzlich beispielsweise Atmung und Bewegung als Kontrollvariablen berücksichtigt werden.

Eine Limitation bisheriger LVT ist, dass sie nur dann zu einer sicheren Aussage über das Bestehen einer vorgetäuschten kognitiven Störung führen, wenn in einem Zwangswahlverfahren ein Unter-Zufall-Antwortverhalten gezeigt wird oder der Explorand geständig ist (Merten, 2014; Slick & Sherman, 2013). Diese Schwierigkeit kann auch durch die vorliegende Studie nicht behoben werden. Dennoch trägt der in dieser Arbeit vorgeschlagene Ansatz zur Leistungsvalidierung potentiell massgeblich zur besseren Erkennung von selbstlimitierendem Verhalten bei.

10 Fazit und Ausblick

Die Hauptbefunde der vorliegenden Arbeit zeigen, dass sich durch einfache Instruktionen zum Leistungsverhalten signifikante Gruppenunterschiede in den Testleistungen herbeiführen lassen, ohne dass die Probanden dazu angehalten werden, möglichst schlechte Leistungen zu zeigen. Bei vielen bisher entwickelten Leistungsvalidierungstests wurden gesunde Probanden aufgefordert, eine Krankheit zu simulieren. Es ist anzunehmen, dass die dabei gezeigten Leistungen deutlich tiefer sind als die Leistungen, die gezeigt werden, wenn die Probanden instruiert werden, lediglich unter ihrer Leistungsgrenze zu bleiben. So zeigten lediglich zwei von 131 Probanden eine auffällige Testleistung in der Bremer Symptom-Validierung. Dementsprechend würden die Testleistungen aller Probanden der vorliegenden Studie als authentisch beurteilt werden. Dennoch zeigten die Probanden der NC-Gruppe insbesondere in Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit, zum Arbeitsgedächtnis, zum Gedächtnis und zur Aufmerksamkeit signifikant schlechtere Testergebnisse als die Probanden der AC-Gruppe, was ein selbstlimitierendes Leistungsverhalten der NC-Gruppe belegt.

Dies stellt eine wichtige Erkenntnis dar für die zukünftige Entwicklung neuropsychologischer Leistungsvalidierungsverfahren. So sollte bei der Entwicklung und Validierung neuer LVT auch selbstlimitierendes Verhalten berücksichtigt werden, das sich durch bewusste Zurückhaltung der Leistung auszeichnet. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich eine bewusste Zurückhaltung der Leistung insbesondere in Testverfahren, die Prozesse wie Verarbeitungsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtnis, Gedächtnis und selektive Aufmerksamkeit erfassen, auswirkt. Diese Tests scheinen besonders anfällig zu sein für selbstlimitierendes Verhalten, das sich möglicherweise nur unterschwellig präsentiert und daher bis jetzt als authentisch beurteilt wurde. Die hier präsentierte Arbeit macht darauf

aufmerksam, dass daher bei der Interpretation der Testleistungen bei solchen Aufgaben erhöhte Vorsicht geboten ist.

Weiter konnten Zusammenhänge zwischen kognitiv fordernden Aufgaben und Veränderungen der HR und der HRV bestätigt werden. Durch Extraktion von AC-spezifischen Faktoren aus den trendbereinigten und geglätteten HR der Δ SHR konnten gesunde Probanden zuverlässig in zwei Gruppen eingeteilt werden, wobei die eine Gruppe selbstlimitierendes Leistungsverhalten zeigte und die andere Gruppe instruiert wurde, authentische Leistungen zu erbringen. Die Betrachtung der mittleren Verläufe der Δ SHR ermöglicht es zudem, die zeitliche Dynamik der autonomen Aktivierung zu berücksichtigen, was in bisherigen Analysen der HR und HRV, insbesondere im Bereich der kognitiven Fähigkeiten, weitgehend vernachlässigt wurde.

Für die neurologischen Patienten konnten keine zuverlässigen Aussagen abgeleitet werden. Trotz der noch ungenügenden Klassifikation der neurologischen Patienten schlägt diese Arbeit einen neuen vielversprechenden Zugang zur Leistungsvalidierung vor. Um Aussagen zu spezifischen Patientenpopulationen machen zu können, sind weitere Validierungsstudien notwendig. Wichtig ist dies insbesondere für Patientenpopulationen, die über schwer objektivierbare Beschwerden klagen, beispielsweise für Personen mit einem Schleudertrauma. Schwer objektivierbare Gesundheitsbeeinträchtigungen weisen eine sehr hohe Prävalenz auf (Larrabee, 2003; Mittenberg et al., 2002) und eine zuverlässige Klassifizierung von Probanden mit schwer objektivierbaren Gesundheitsbeeinträchtigungen würde die Frage der Authentizität ihrer Beschwerden klären. Dies wäre insbesondere wichtig, da dies bis heute nur äusserst selten möglich ist.

11 Literaturverzeichnis

- Acharya, U. R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Lim, C. M., & Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput*, 44, 1031–1051. <http://doi.org/10.1007/s11517-006-0119-0>
- Ackerman, P. L. (2011). 100 years without resting. In P. L. Ackerman (Ed.), *Cognitive fatigue: multidisciplinary perspectives on current research and future applications* (pp. 11–43). Washington, DC: American Psychological Association.
- Adan, A., & Sanchez-Turet, M. (1996). Cardiac reactivity during task performance: influence of time of day. *Neuroreport*, 8(1), 129–132.
- Ahern, G. L., Sollers III, J. J., Lane, R. D., Labiner, D. M., Herring, A. M., Weinand, M. E., ... Thayer, J. F. (2001). Heart rate and heart rate variability changes in the intracarotid sodium amobarbital test. *Epilepsia*, 42(7), 912–921. <http://doi.org/10.1046/j.1528-1157.2001.042007912.x>
- Ahmed, H. M., Al-Mallah, M. H., Keteyian, S. J., Brawner, C. A., Ehrman, J. K., Zhao, D., ... Michos, E. D. (2017). *Sex-Specific Maximum Predicted Heart Rate and Its Prognosis for Mortality and MI. Medicine & Science in Sports & Exercise*. <http://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001285>
- Allen, L., Conder, R., Green, P., & Cox, D. (1997). CARB'97: Computerized Assessment of Response Bias. Manual. *Durham (NC): Cognisyst*.
- Allport, D. A., Antonis, B., & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 24(2), 225–235. <http://doi.org/Doi 10.1080/00335557243000102>
- Althaus, M., Mulder, L. J. M., Mulder, G., Van Roon, A. M., & Minderaa, R. B. (1998). Influence of respiratory activity on the cardiac response pattern to mental effort. *Psychophysiology*, 35(4), 420–430. <http://dx.doi.org/10.1111/1469-8986.3540420>
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17–42. <http://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Amft, M., Bzdok, D., Laird, A. R., Fox, P. T., Schilbach, L., & Eickhoff, S. B. (2015). Definition and characterization of an extended social-affective default network. *Brain Structure and Function*, 220(2), 1031–1049. <http://doi.org/10.1007/s00429-013-0698-0>
- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of General Psychology*, 10(3), 229–240. <http://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229>

- Arai, T. (1912). *Mental fatigue* (Nr. 54). Teachers College, Columbia University.
- Aschenbrenner, S., Tucha, O., & Lange, K. W. (2000). *Regensburger Wortflüssigkeits-Test: RWT*. Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Bartenwerfer, H. (1969). Einige praktische Konsequenzen aus der Aktivierungstheorie. *Zeitschrift Für Experimentelle Und Angewandte Psychologie*, 16, 195–222.
- Bauer, L., & McCaffrey, R. (2006). Coverage of the test of memory malingering, victoria symptom validity test, and word memory test on the internet: Is test security threatened? *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21(1), 121–126. <http://doi.org/10.1016/j.acn.2005.06.010>
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1252–1265.
- Baumeister, R. F., & Vohs, K. D. (2007). Self-regulation, ego depletion, and motivation. *Social and Personality Psychology Compass*, 1(1), 115–128. <http://doi.org/doi:10.1111/j.1751-9004.2007.00001.x>
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, 16(6), 351–355. <http://doi.org/DOI 10.1111/j.1467-8721.2007.00534.x>
- Beissner, F., Meissner, K., Bär, K.-J., & Napadow, V. (2013). The autonomic brain: an activation likelihood estimation meta-analysis for central processing of autonomic function. *The Journal of Neuroscience*, 33(25), 10503–11. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1103-13.2013>
- Benarroch, E. (1993). The Central Autonomic Network: Functional Organization, Dysfunction, and Perspective. *Mayo Clinic Proceedings*, 68(10), 988–1001. [http://doi.org/10.1016/S0025-6196\(12\)62272-1](http://doi.org/10.1016/S0025-6196(12)62272-1)
- Benarroch, E. (Ed.). (2014). *Autonomic Neurology*. Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/med/9780199920198.001.0001>
- Berntson, G. G., & Cacioppo, J. T. (2000). From homeostasis to alldynamic regulatio. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (2nd ed., pp. 459–481). New York, NY: Cambridge University Press.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Grossman, P. (2007). Whither vagal tone. *Biological Psychology*, 74(2), 295–300. <http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.08.006>
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Quigley, K. S. (1993). Respiratory sinus arrhythmia: Autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications.

- Psychophysiology*, 30, 183–186.
- Berry, D. T. R., & Nelson, N. W. (2010). DSM-5 and malingering: A modest proposal. *Psychological Injury and Law*, 3(4), 295–303. <http://doi.org/10.1007/s12207-010-9087-7>
- Berthelson, L., Mulchan, S. S., Odland, A. P., Miller, L. J., & Mittenberg, W. (2013). False positive diagnosis of malingering due to the use of multiple effort tests. *Brain Injury*, 27(7–8), 909–916. <http://doi.org/10.3109/02699052.2013.793400>
- Bianchini, K. J., Greve, K. W., & Glynn, G. (2005). On the diagnosis of malingered pain-related disability: lessons from cognitive malingering research. *Spine Journal*, 5(4), 404–417. <http://doi.org/10.1016/j.spinee.2004.11.016>
- Bianchini, K. J., Mathias, C. W., & Greve, K. W. (2001). Symptom validity testing: A critical review. *Clinical Neuropsychologist*, 15(1), 19–45. <http://doi.org/10.1076/clin.15.1.19.1907>
- Bickart, K. C., Dickerson, B. C., & Feldman Barrett, L. (2014). The amygdala as a hub in brain networks that support social life. *Neuropsychologia*, 63, 235–248. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.013>
- Bigler, E. D. (2014). Effort, symptom validity testing, performance validity testing and traumatic brain injury. *Brain Injury*, 28(13–14), 1623–1638. <http://doi.org/10.3109/02699052.2014.947627>
- Bigler, E. D. (2015). Neuroimaging as a biomarker in symptom validity and performance validity testing. *Brain Imaging and Behavior*, 9(3), 421–444. <http://doi.org/10.1007/s11682-015-9409-1>
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2(86), 1–13. <http://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, 4(26), 1–5. <http://doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>
- Blascovich, J., & Mendes, W. B. (2001). Challenge and Threat Appraisals: The role of affective cues. *Feeling and Thinking: The Role of Affect in Social Cognition*, 59.
- Blascovich, J., & Tomaka, J. (1996). The biopsychosocial model of arousal regulation. *Advances in Experimental Social Psychology*, 28, 1–51. [http://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60235-X](http://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60235-X)
- Bommas-Ebert, U., Teubner, P., & Voss, R. (2011). *Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie*. Georg Thieme Verlag.
- Boone, K. B. (2009). The need for continuous and comprehensive sampling of effort/response bias during neuropsychological examinations. *The Clinical Neuropsychologist*, 23(4),

- 729–741. <http://doi.org/10.1080/13854040802427803>
- Boone, K. B. (2013). *Clinical practice of forensic neuropsychology: An evidence-based approach*. New York: Guilford Press.
- Boone, K. B., Victor, T. L., Wen, J., Razani, J., & Ponton, M. (2007). The association between neuropsychological scores and ethnicity, language, and acculturation variables in a large patient population. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(3), 355–365. <http://doi.org/10.1016/j.acn.2007.01.010>
- Botvinick, M. M. (2007). Conflict monitoring and decision making: reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 7(4), 356–366. <http://doi.org/10.3758/CABN.7.4.356>
- Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2014). The computational and neural basis of cognitive control: charted territory and new frontiers. *Cognitive Science*, 38, 1249–1285. <http://doi.org/10.1111/cogs.12126>
- Brading, A. (1999). *The autonomic nervous system and its effectors*. Blackwell Science.
- Brämer, D., & Hoyer, D. (2014). Herzfrequenzvariabilität als Marker Schlaganfall-assoziiierter Infektionen. *Das Neurophysiologie-Labor*, 36(1), 23–32. <http://doi.org/10.1016/j.neulab.2014.01.001>
- Brehm, J. W., & Self, E. a. (1989). The intensity of motivation. *Annual Review of Psychology*, 40, 109–131. <http://doi.org/10.1146/annurev.psych.40.1.109>
- Bush, G., Vogt, B. A., Holmes, J., Dale, A. M., Greve, D., Jenike, M. A., & Rosen, B. R. (2002). Dorsal anterior cingulate cortex: a role in reward-based decision making. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 99(1), 523–528. <http://doi.org/10.1073/pnas.012470999>
- Bush, S. S. (2009). Die praxis der beschwerdenvalidierung: Ethische und fachwissenschaftliche Gesichtspunkte. In Merten T. & Dettenborn H. (Eds.), *Diagnostik der Beschwerdenvalidität*. Berlin: Deutscher Psychologen Verlag.
- Bush, S. S. (2013). Ethical considerations in mild traumatic brain injury cases and symptom validity assessment. In D. A. Carone & S. S. Bush (Eds.), *Mild traumatic brain injury : symptom validity assessment and malingering* (pp. 45–56). Springer Pub. Co.
- Bush, S. S., Ruff, R. M., Tröster, A. I., Barth, J. T., Koffler, S. P., Pliskin, N. H., ... Silver, C. H. (2005). Symptom validity assessment: Practice issues and medical necessity: NAN Policy & Planning Committee. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20(4), 419–426. <http://doi.org/10.1016/j.acn.2005.02.002>
- Byrd, D. L., Reuther, E. T., McNamara, J. P., DeLucca, T. L., & Berg, K. W. (2015). Age Differences in high frequency phasic heart rate variability and performance response to

- increased executive function load in three executive function tasks. *Frontiers in Psychology*, 1–13. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01470>
- Cacioppo, J. T. (1977). *Heart rate, cognitive response, and persuasion*. Unpublished doctoral dissertation: Ohio State University.
- Carpenter, P. a, Just, M. a, & Reichle, E. D. (2000). Working memory and executive function: evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(2), 195–199. [http://doi.org/S0959-4388\(00\)00074-X](http://doi.org/S0959-4388(00)00074-X) [pii]
- Chapman, J. (1924). *Chapman-Cook Speed of Reading Test*.
- Chen, C. F., Lin, H. F., Lin, R. T., Yang, Y. H., & Lai, C. L. (2013). Relationship between ischemic stroke location and autonomic cardiac function. *Journal of Clinical Neuroscience*, 20(3), 406–409. <http://doi.org/10.1016/j.jocn.2012.02.047>
- Chiou, R. J., Kuo, C. C., Liang, K. C., & Yen, C. T. (2009). State-dependent amygdala stimulation-induced cardiovascular effects in rats. *Chinese Journal of Physiology*, 52(6), 432–440. <http://doi.org/10.4077/CJP.2009.AMH046>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Colivicchi, F., Bassi, A., Santini, M., & Caltagirone, C. (2004). Cardiac autonomic derangement and arrhythmias in right-sided stroke with insular involvement. *Stroke*, 35(9), 2094–2098. <http://doi.org/10.1161/01.STR.0000138452.81003.4c>
- Craig, A. D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 500–505. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00090-4](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00090-4)
- Craig, A. D. (2005). Forebrain emotional asymmetry: A neuroanatomical basis? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 566–571. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.005>
- Critchley, H. D. (2005). Neural mechanisms of autonomic, affective, and cognitive integration. *Journal of Comparative Neurology*, 493, 154–166. <http://doi.org/10.1002/cne.20749>
- Critchley, H. D. (2009). Psychophysiology of neural, cognitive and affective integration: fMRI and autonomic indicants. *International Journal of Psychophysiology*, 73(2), 88–94. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.01.012>
- Critchley, H. D., Eccles, J., & Garfinkel, S. N. (2013). Interaction between cognition, emotion, and the autonomic nervous system. *Handbook of Clinical Neurology*, 117, 59–77. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00006-7>
- Critchley, H. D., Mathias, C. J., Josephs, O., O'Doherty, J., Zanini, S., Dewar, B. K., ...

- Dolan, R. J. (2003). Human cingulate cortex and autonomic control: Converging neuroimaging and clinical evidence. *Brain*, 126(10), 2139–2152. <http://doi.org/10.1093/brain/awg216>
- Croxson, P. L., Walton, M. E., O'Reilly, J. X., Behrens, T. E. J., & Rushworth, M. F. S. (2009). Effort-based cost-benefit valuation and the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 29(14), 4531–4541. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4515-08.2009>
- Cullum, C., Heaton, R., & Grant, I. (1991). Psychogenic factors influencing neuropsychological performance: Somatoform disorders, factitious disorders, and malingering.
- de Morree, H. M., Rutten, G.-J., Szabó, B. M., Sitskoorn, M. M., & Kop, W. J. (2016). Effects of Insula Resection on Autonomic Nervous System Activity. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, 28(2), 153–158. <http://doi.org/10.1097/ANA.0000000000000207>
- Dean, A. C., Victor, T. L., Boone, K. B., & Arnold, G. (2008). The relationship of IQ to effort test performance. *The Clinical Neuropsychologist*, 22(4), 705–722. <http://doi.org/10.1080/13854040701440493>
- De Renzi, A., & Vignolo, L. A. (1962). Token test: A sensitive test to detect receptive disturbances in aphasics. *Brain: A Journal of Neurology*.
- De Rivecourt, M., Kuperus, M. N., Post, W. J., & Mulder, L. J. (2008). Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*, 51(9), 1295–1319. <http://doi.org/10.1080/00140130802120267>
- Demakis, G. J., Sweet, J. J., Sawyer, T. P., Moulthrop, M., Nies, K., & Clingerman, S. (2001). Discrepancy between predicted and obtained WAIS-R IQ scores discriminates between traumatic brain injury and insufficient effort. *Psychological Assessment*, 13(2), 240–248. <http://doi.org/10.1037//1040-3590.13.2.240>
- Dohrenbusch, R. (2006). Begutachtung somatoformer Störungen und chronifizierter Schmerzen: Konzepte-Methoden-Beispiele.
- Dorrance, A. M., & Fink, G. (2015). Effects of Stroke on the Autonomic Nervous System. *Comprehensive Physiology*, 5, 1241–1263. <http://doi.org/10.1002/cphy.c140016>
- Duffy, E. (1957). The psychological significance of the concept of“ arousal” or“ activation.” *Psychological Review*, 64(5), 265.
- Duffy, E. (1962). *Activation and behavior*. Oxford, England: Wiley.
- Durantin, G., Gagnon, J. F., Tremblay, S., & Dehais, F. (2014). Using near infrared

- spectroscopy and heart rate variability to detect mental overload. *Behavioral and Brain Research*, 259, 16–23. <http://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.10.042>
- Duschek, S., Muckenthaler, M., Werner, N., & del Paso, G. A. (2009). Relationships between features of autonomic cardiovascular control and cognitive performance. *Biological Psychology*, 81(2), 110–117. <http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.03.003>
- Dwyer, C. A. (1996). Cut scores and testing: Statistics, judgement, truth, and error. *Psychological Assessment*, 8(4), 360–362. Retrieved from https://scholar.google.ch/scholar?hl=de&as_sdt=0%2C5&q=Cut+scores+and+testing%3A+Statistics%2C+judgement%2C+truth%2C+and+error&btnG=
- Eberl, A., & Wilhelm, H. (2007). *Aggravations-und Simulationstest AST 4.0* (2. Auflage). Essen: Mnemo-Verlag.
- Ekman, P., O'Sullivan, M., & Frank, M. G. (1999). A few can catch a liar. *Psychological Science*, 10(3), 263–268. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00147>
- Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders. *British Medical Bulletin*. <http://doi.org/10.1093/bmb/65.1.49>
- Esperer, H. D., Esperer, C., & Cohen, R. J. (2008). Cardiac arrhythmias imprint specific signatures on Lorenz plots. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 13(1), 44–60. <http://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2007.00200.x>
- Essig, S. M., Mittenberg, W., Petersen, R. S., Strauman, S., & Cooper, J. T. (2001). Practices in forensic neuropsychology: Perspectives of neuropsychologists and trial attorneys. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 16(3), 271–291. [http://doi.org/10.1016/S0887-6177\(99\)00065-7](http://doi.org/10.1016/S0887-6177(99)00065-7)
- Fahrenberg, J. (1983). Psychophysiologische Methodik. In K. J. Groffmann & L. Michel (Eds.), *Enzyklopädie der Psychologie. Psychologische Diagnostik* (Vol. 4, pp. 1–192). Göttingen: Hogrefe.
- Falkai, P., & Wittchen, H. (2015). Diagnostisches und Statistisches Manual Psychiatrischer Störungen DSM-5. *Göttingen, Hogrefe*.
- Faust, D. (1995). The detection of deception. *Neurologic Clinics*.
- Faust, D., Hart, K. J., Guilmette, T. J., & Arkes, H. R. (1988). Neuropsychologists' capacity to detect adolescent malingerers. *Professional Psychology: Research and Practice*, 19(5), 508–515. <http://doi.org/10.1037/0735-7028.19.5.508>
- Fehlmann, B., & Jokeit, H. (2017). The Stroop-Interference-NoGo-Test (STING): A Fast Screening Tool for the Global Assessment of Neuropsychological Impairments Authors Material and execution, 98–106.

- Feigin, V. L., Barker-Collo, S., Krishnamurthi, R., Theadom, A., & Starkey, N. (2010). Epidemiology of ischaemic stroke and traumatic brain injury. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 24(4), 485–494. <http://doi.org/10.1016/j.bpa.2010.10.006>
- Flaro, L., Green, P., & Robertson, E. (2007). Word Memory Test failure 23 times higher in mild brain injury than in parents seeking custody: the power of external incentives. *Brain Injury*, 21(4), 373–383. <http://doi.org/10.1080/02699050701311133>
- Frederick, R. I., & Bowden, S. C. (2009). Evaluating constructs represented by symptom validity tests in forensic neuropsychological assessment of traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 24(2), 105–122. <http://doi.org/10.1097/HTR.0b013e31819b1210>
- Frei, A., Balzer, C., Gysi, F., Leros, J., Plohm, A., & Steiger, G. (2016). Kriterien zur Bestimmung des Schweregrades einer neuropsychologischen Störung sowie Zuordnungen zur Funktions- und Arbeitsfähigkeit. *Zeitschrift Für Neuropsychologie*, 27(2), 107–119. <http://doi.org/10.1024/1016-264X/a000177>
- Gailliot, M. T., & Baumeister, R. F. (2007). The physiology of willpower: Linking blood glucose to self-control. *Personality and Social Psychology Review*, 11(4), 303–327. <http://doi.org/10.1177/1088868307303030>
- Gendolla, G. H., & Wright, R. A. (2009). Effort. In D. Sander & K. R. Scherer (Eds.), *The Oxford companion to emotion and the affective sciences* (pp. 134–135). New York: Oxford University Press.
- Gendolla, G. H., Wright, R. A., & Richter, M. (2012). Effort intensity: Some insights from the cardiovascular system. *The Oxford Handbook of Human Motivation*, 420.
- Gibbins, I. (1990). Peripheral autonomic nervous system. In G. Paxinos (Ed.), *The human nervous system* (pp. 93–123). San Diego, CA: Academic Press.
- Gibson, E. L. (2007). Carbohydrates and mental function: feeding or impeding the brain? *Nutrition Bulletin*, 32, 71–83.
- Goldstein, D. S., Benth, O., Park, M., & Sharabi, Y. (2011). LF power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Experimental Physiology*, 96(12), 1255–1261. <http://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.056259>
- Golland, Y., Keissar, K., & Levit-Binnun, N. (2014). Studying the dynamics of autonomic activity during emotional experience. *Psychophysiology*, 51(11), 1101–1111. <http://doi.org/10.1111/psyp.12261>
- Gramann, K., & Schandry, R. (2009). Kardiovaskuläre Aktivität. In *Psychophysiologie*.

- Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens* (4. Auflage, pp. 95–126).
- Grandt, M. (2004). *Zur Erfassung und Bewertung der mentalen Beanspruchung mittels psychophysiologischer Messverfahren*. Bergische Universität Wuppertal, Deutschland.
- Green, P. (2003). Green's word memory test for windows: User's manual. *Edmonton, Canada: Green's Publishing*.
- Green, P. (2004). *Green's medical symptom validity test (MSVT) for Microsoft Windows. User's Manual*. Edmonton, Canada: Green's Publishing.
- Green, P. (2008). *Green's non-verbal medical symptom validity test (NS-MSVT) for microsoft windows. User's Manual*. Edmonton, Canada: Green's Publishing.
- Green, P., Rohling, M. L., Lees-Haley, P. R., & Allen, L. M. (2001). Effort has a greater effect on test scores than severe brain injury in compensation claimants. *Brain Injury*, 15(12), 1045–1060. <http://doi.org/10.1080/02699050110088254>
- Greve, K. W., & Bianchini, K. J. (2009). Schmerz und Beschwerdenuvalidierung. In *Diagnostik der Beschwerdenuvalidität*. Berlin: Deutscher Psychologen Verlag.
- Grossman, P., & Taylor, E. W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biological Psychology*, 74(2), 263–285. <http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.014>
- Hachinski, V. C., Oppenheimer, S. M., Wilson, J. X., Guiraudon, C., & Cechetto, D. F. (1992). Asymmetry of sympathetic consequences of experimental stroke. *Archives of Neurology*, 49(7), 697–702.
- Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. (2010). Ego depletion and the strength model of self-control: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 136(4), 495–525. <http://doi.org/10.1037/a0019486>
- Haley, K. J., & Fessler, D. M. T. (2005). Nobody's watching? Subtle cues affect generosity in an anonymous economic game. *Evolution and Human Behavior*, 26(3), 245–256. <http://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2005.01.002>
- Härting, C., Markowitsch, H. J., Neufeld, H., Calabrese, P., Deisinger, K., & Kessler, J. (2000). WMS-R Wechsler gedächtnistest—revidierte fassung. *Bern: Hans Huber*.
- Hartje, W. (2006). Neuropsychologische Begutachtung. In *Kognitive Neurologie* (pp. 235–245). Stuttgart: Thieme.
- Hayden, B. Y., Pearson, J. M., & Platt, M. L. (2009). Fictive reward signals in the anterior cingulate cortex. *Science*, 324(5929), 948–950. <http://doi.org/10.1126/science.1168488>
- Heathers, J. A. J. (2014). Everything Hertz: Methodological issues in short-term frequency-domain HRV. *Frontiers in Physiology*, 5(277), 1–15.

- <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00177>
- Heilbronner, R. L., Sweet, J. J., Morgan, J. E., Larrabee, G. J., & Millis, S. R. (2009). American academy of clinical neuropsychology consensus conference statement on the neuropsychological assessment of effort, response bias, and malingering. *The Clinical Neuropsychologist*, 23(7), 1093–1129. <http://doi.org/10.1080/13854040903155063>
- Helmstaedter, C., Lendt, M., & Lux, S. (2001). *Verbaler Lern-Und Merkfähigkeitstest: Vlmt; Manual*. Beltz-Test.
- Henelius, A., Hirvonen, K., Holm, A., Korpela, J., & Muller, K. (2009). Mental workload classification using heart rate metrics. In *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (2009/12/08, pp. 1836–1839). Minneapolis Minnesota. <http://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5332602>
- Henry, G. K., Heilbronner, R. L., Mittenberg, W., Enders, C., & Domboski, K. (2009). Comparison of the MMPI-2 restructured demoralization scale, depression scale, and malingered mood disorder scale in identifying non-credible symptom reporting in personal injury litigants and disability claimants. *The Clinical Neuropsychologist*, 23(1), 153–166. <http://doi.org/10.1080/13854040801969524>
- Heubrock, D., & Petermann, F. (2000). *Testbatterie zur forensischen Neuropsychologie (TBFN). Testmanual*.
- Holding, D. H. (1983). Fatigue. In G. R. J. Hockey (Ed.), *Stress and fatigue in human performance* (pp. 145–167). Chichester Wiley.
- Hovland, A., Pallesen, S., Hammar, Å., Hansen, A. L., Thayer, J. F., Tarvainen, M. P., & Nordhus, I. H. (2012). The relationships among heart rate variability, executive functions, and clinical variables in patients with panic disorder. *International Journal of Psychophysiology*, 86(3), 269–275. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.10.004>
- Hugdahl, K., Thomsen, T., Landrø, N. I., Ersland, L., Smievoll, A. I., Lundervold, A., ... Roscher, B. (2000). Separating mental arithmetic from working memory: An fMRI-study. *NeuroImage*, 11(5). [http://doi.org/10.1016/S1053-8119\(00\)91315-6](http://doi.org/10.1016/S1053-8119(00)91315-6)
- Huppelsberg, J., & Walter, K. (2013). *Vegetatives Nervensystem. Kurzlehrbuch Pysiologie*. Georg Thieme Verlag. <http://doi.org/https://doi.org.10.1055/b-0034-96160>
- Inamasu, J., Sugimoto, K., Watanabe, E., Kato, Y., & Hirose, Y. (2015). Effect of insular injury on autonomic functions in patients with ruptured middle cerebral artery aneurysms. *Stroke*, 44(12), 3550–3553. <http://doi.org/10.1161/STROKEAHA.113.003099>
- Inzlicht, M., Berkman, E., & Elkins-Brown, N. (2016). The neuroscience of “ego depletion”

- or: How the brain can help us understand why self-control seems limited. In E. Harmon-Jones & M. Inzlicht (Eds.), *Social Neuroscience: Biological Approaches to Social Psychology* (pp. 102–123).
- Inzlicht, M., Schmeichel, B. J., & Macrae, C. N. (2014). Why self-control seems (but may not be) limited. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 127–133. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.009>
- Iverson, G. L. (2006). Ethical issues associated with the assessment of exaggeration , poor effort , and malingering ethical issues associated with the assessment of exaggeration, poor effort, and malingering. *Applied Neuropsychology*, 13(2), 77–90. <http://doi.org/10.1207/s15324826an1302>
- Jänig, W. (2011). Vegetatives Nervensystem. In R. Schmidt, F. Lang, & M. Heckmann (Eds.), *Physiologie des Menschen* (pp. 403–434). http://doi.org/10.1007/978-3-642-01651-6_20
- Jeger, J. (2014). Die persönlichen Ressourcen und ihre Auswirkungen auf die Arbeits-und Wiedereingliederungsfähigkeit–eine kritische Auseinandersetzung mit der. In G. Riemer-Kafka (Ed.), *Psyche und Sozialversicherung. Luzerner Beiträge zur Rechtswissenschaft* (Bd. 81). Zürich: Schulthess.
- Job, V., Dweck, C. S., & Walton, G. M. (2010). Ego depletion - Is it all in your head? implicit theories about willpower affect self-regulation. *Psychological Science*, 21(11), 1686–1693. <http://doi.org/10.1177/0956797610384745>
- Johnson-Greene, D., Brooks, L., & Ference, T. (2013). Relationship between performance validity testing, disability status, and somatic complaints in patients with fibromyalgia. *The Clinical Neuropsychologist*, 27(1), 148–158. <http://doi.org/10.1080/13854046.2012.733732>
- Jokeit, H., Noerpel, I., Herbord, E., & Ebner, a. (2000). Heart rate does not decrease after right hemispheric amobarbital injection. *Neurology*, 54(12), 2347–2348. <http://doi.org/10.1212/WNL.54.12.2347>
- Jokinen-Salmela, H., Melkas, S., Ylikoski, R., Pohjasvaara, T., Kaste, M., Erkinjuntti, T., & Hietanen, M. (2015). Post-stroke cognitive impairment is common even after successful clinical recovery. *European Journal of Neurology*, 22(9), 1288–1294. <http://doi.org/10.1111/ene.12743>
- Jorna, P. G. (1992). Spectral analysis of heart rate and psychological state: a review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, 34(2–3), 237–257.
- Jose, A., & Collison, D. (1970). The normal range and determinants of the intrinsic heart rate in man. *Cardiovascular Research*, 4, 160–167.

- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychology Review*, 17(3), 213–233. <http://doi.org/10.1007/s11065-007-9040-z>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Engelwood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Kapur, N. (1994). The coin-in-the-hand test: a new “bed-side” test for the detection of malingering in patients with suspected memory disorder. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 57(3), 385–386.
- Kassin, S. M., Appleby, S. C., & Perillo, J. T. (2010). Interviewing suspects: Practice, science, and future directions. *Legal and Criminological Psychology*, 15(1), 39–55. <http://doi.org/10.1348/135532509X449361>
- Keren, O., Yupatov, S., Radai, M. M., Elad-Yarum, R., Faraggi, D., Abboud, S., ... Groswasser, Z. (2005). Heart rate variability (HRV) of patients with traumatic brain injury (TBI) during the post-insult sub-acute period. *Brain Injury*, 19(8), 605–611. <http://doi.org/10.1080/02699050400024946>
- Kessels, R. P. C., van Zandvoort, M. J. E., Postma, A., Kappelle, L. J., & de Haan, E. H. F. (2000). The Corsi block-tapping task: standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, 7(4), 252–258.
- King, M. L., Lichtman, S. W., Seliger, G., Ehert, F. A., & Steinberg, J. S. (1997). Heart-rate variability in chronic traumatic brain injury. *Brain Injury*, 11(6), 445–453. <http://doi.org/10.1080/026990597123421>
- Kirschbaum, C., Pirke, K. M., & Hellhammer, D. H. (1993). The “Trier Social Stress Test”--a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*. <http://doi.org/119004>
- Koechlin, E., Corrado, G., Pietrini, P., & Grafman, J. (2000). Dissociating the role of the medial and lateral anterior prefrontal cortex in human planning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(13), 7651–6. <http://doi.org/10.1073/pnas.130177397>
- Kolling, N., Wittmann, M. K., Behrens, T. E. J., Boorman, E. D., Mars, R. B., & Rushworth, M. F. S. (2016). Value, search, persistence and model updating in anterior cingulate cortex. *Nature Neuroscience*, 19(10), 1280–1285. <http://doi.org/10.1038/nn.4382>
- Kool, J., Meichtry, A., Schaffert, R., & Rüesch, P. (2008). *Der Einsatz von Beschwerdenvalidierungstests in der IV-Abklärung: forschungsprogramm FoP-IV. Forschungsbericht Nr. 4/08, Bundesamt für Sozialversicherungen.*
- Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B., & Botvinick, M. M. (2010). Decision making and the

- avoidance of cognitive demand. *Journal of Experimental Psychology-General*, 139(4), 665–682. <http://doi.org/Doi 10.1037/A0020198>
- Kramer, J. (1972). *Kramer Intelligenztest*. (St. Antonius Verlag, Ed.). Solothurn.
- Kurzban, R. (2016). The sense of effort. *Current Opinion in Psychology*, 7, 67–70. <http://doi.org/10.1016/j.copsyc.2015.08.003>
- Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., & Myers, J. (2013). An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 661–679. <http://doi.org/10.1017/S0140525X12003196>
- Lane, R. D., Wallace, J. D., Petrosky, P. P., Schwartz, G. E., & Gradman, A. H. (1992). Supraventricular tachycardia in patients with right hemisphere strokes. *Stroke*, 23(3), 362–366. <http://doi.org/10.1161/01.STR.23.3.362>
- Larrabee, G. J. (1990). Cautions in the use of neuropsychological evaluation in legal settings. *Neuropsychology*, 4(4), 239–247. <http://doi.org/10.1037//0894-4105.4.4.239>
- Larrabee, G. J. (2003). Detection of malingering using atypical performance patterns on standard neuropsychological tests. *The Clinical Neuropsychologist*, 17(3), 410–425. <http://doi.org/10.1076/clin.17.3.410.18089>
- Larrabee, G. J. (2005). *Forensic Neuropsychology: A scientific approach to forensic neuropsychology*. (G. J. Larrabee, Ed.). New York: Oxford University Press.
- Larrabee, G. J. (2012). Performance validity and symptom validity in neuropsychological assessment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(4), 625–631. <http://doi.org/10.1017/S1355617712000240>
- Larrabee, G. J. (2014). False-positive rates associated with the use of multiple performance and symptom validity tests. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29(4), 364–373. <http://doi.org/10.1093/arclin/acu019>
- Larrabee, G. J., Greiffenstein, M. F., Greve, K. W., & Bianchini, K. J. (2007). Refining diagnostic criteria for malingering. In *Assessment of Malingered Neuropsychological Deficits* (pp. 334–371).
- Lautenbacher, S., & Gauggel, S. (2004). *Neuropsychologie psychischer Störungen*. Berlin: Springer.
- Lederhuber, H. C., & Lange, V. (2005). *Basics Kardiologie*. Elsevier, Urban und Fischer.
- Levy, M. (1990). Autonomic interactions in cardiac control. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 601(1), 209–221. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb37302.x>
- Lewis, S. J. G., Dove, A., Robbins, T. W., Barker, R. a, & Owen, A. M. (2004). Striatal contributions to working memory: a functional magnetic resonance imaging study in

- humans. *The European Journal of Neuroscience*, 19(3), 755–760.
<http://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2003.03108.x>
- Linder, M., & Grisseman, H. (1968). *Züricher Lesetest*. Huber.
- Luft, C. D., Takase, E., & Darby, D. (2009). Heart rate variability and cognitive function: effects of physical effort. *Biological Psychology*, 82(2), 186–191.
<http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.07.007>
- Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Cognitive performance and heart rate variability: the influence of fitness level. *PloS One*, 8(2), e56935. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0056935>
- Macey, P., Wu, P., Kumar, R., Ogren, J., Richardson, H., Woo, M., & Harper, R. (2012). Differential responses of the insular cortex gyri to autonomic challenges. *Autonomic Neuroscience*, 168(1–2), 72–81. <http://doi.org/10.1016/j.autneu.2012.01.009>
- Magen, E., & Gross, J. J. (2007). Harnessing the need for immediate gratification: cognitive reconstrual modulates the reward value of temptations. *Emotion*, 7(2), 415–428.
<http://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.415>
- Malik, M., Xia, R., Odemuyiwa, O., Staunton, A., Poloniecki, J., & Camm, A. J. (1993). Influence of the recognition artefact in automatic analysis of long-term electrocardiograms on time-domain measurement of heart rate variability. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 31(5), 539–544.
<http://doi.org/10.1007/BF02441992>
- Mangoni, M. E., & Nargeot, J. (2008). Genesis and regulation of the heart automaticity. *Physiological Reviews*, 88(3), 919–982. <http://doi.org/10.1152/physrev.00018.2007>
- Manzey, D. (1989). Workload Assessment by Secondary Tasks and the Multidimensionality of Human Information-Processing Resources. In *Proceedings of the Fifth International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 826–831). Columbus OH.
- Manzey, D. (1997). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Ed.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie* (Vol. 100, pp. 799–864). Göttingen: Hogrefe.
- Marx, H. (1992). Methodische und inhaltliche Argumente für und wider eine frühe Identifikation und Prädiktion von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. *Diagnostica*.
- Massaro, S., & Pecchia, L. (2016). Heart rate variability (HRV) Analysis: A methodology for organizational neuroscience. *Organizational Research Methods*, 1–40.
<http://doi.org/10.1177/1094428116681072>
- McGuinness, D., & Pribram, K. H. (1980). The neuropsychology of attention: Emotional and

- motivational controls. In M. C. Wittrock (Ed.), *The brain and psychology* (pp. 95–139).
- Medienmitteilung des Bundesgerichts. (2015). *Medienmitteilung des Bundesgerichts Psychosomatische Leiden und IV-Rente: Bundesgericht ändert Rechtsprechung*. Lausanne.
- Meglic, B., Kobal, J., Osredkar, J., & Pogacnik, T. (2001). Autonomic nervous system function in patients with acute brainstem stroke. *Cerebrovascular Diseases*, 11(1), 2–8. <http://doi.org/47605>
- Merten, T. (2005). Der Stellenwert der Symptomvalidierung in der neuropsychologischen Begutachtung. *Zeitschrift Für Neuropsychologie*, 16(1), 29–45. <http://doi.org/10.1024/1016-264X.16.1.29>
- Merten, T. (2014). *Beschwerdenvalidierung*. Hogrefe.
- Merten, T., & Dettenborn, H. (2009). *Diagnostik der Beschwerdenvalidität. Praxis der Rechtspsychologie*. Berlin: Deutscher Psychologen-Verlag.
- Merten, T., & Dohrenbusch, R. (2012). Psychologische Methoden der Beschwerdenvalidierung. In W. Schneider, P. Henningsen, R. Dohrenbusch, H.-J. Freyberger, H. Irle, V. Köllner, & B. Widder (Eds.), *Begutachtung bei psychischen und psychosomatischen Erkrankungen* (pp. 186–222). Bern: Huber.
- Merten, T., & Engemann, A. (2014). Simulation. In M. A. Wirtz (Ed.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (17. Auflag, p. 1531). Bern: Huber.
- Merten, T., Stevens, A., & Blaskewitz, N. (2009). Beschwerdenvalidität und Begutachtung: eine Einführung. In T. Merten & H. Dettenborn (Eds.), *Diagnostik der Beschwerdenvalidität*. Berlin: Deutscher Psychologen-Verlag.
- Meyer, S., Strittmatter, M., Fischer, C., Georg, T., & Schmitz, B. (2004). Lateralization in autonomic dysfunction in ischemic stroke involving the insular cortex. *NeuroReport*, 15(2), 357–361. <http://doi.org/10.1097/01.wnr.0000103755.04757.52>
- Meyers, J. E., & Volbrecht, M. E. (2003). A validation of multiple malingering detection methods in a large clinical sample. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 18(3), 261–276. [http://doi.org/10.1016/S0887-6177\(02\)00136-1](http://doi.org/10.1016/S0887-6177(02)00136-1)
- Miller, L. (2001). Not just malingering: Syndrome diagnosis in traumatic brain injury litigation. *NeuroRehabilitation*, 16(2), 109–122.
- Mittenberg, W., Aguila-Puentes, G., & Patton, C. (2003). Neuropsychological profiling of symptom exaggeration and malingering. *Journal of Forensic Psychology*, 3(1–2), 227–240. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1300/J151v03n01_03
- Mittenberg, W., Patton, C., Canyock, E. M., & Condit, D. C. (2002). Base rates of

- malinger and symptom exeggeration. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(8), 1094–1102. <http://doi.org/10.1076/jcen.24.8.1094.8379>
- Molden, D. C., Hui, C. M., Scholer, A. A., Meier, B. P., Noreen, E. E., D’Agostino, P. R., & Martin, V. (2012). Motivational versus metabolic effects of carbohydrates on self-control. *Psychological Science*, 23(10), 1137–1144. <http://doi.org/10.1177/0956797612439069>
- Monchi, O., Petrides, M., Strafella, A. P., Worsley, K. J., & Doyon, J. (2006). Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. *Annals of Neurology*, 59(2), 257–264. <http://doi.org/10.1002/ana.20742>
- Montano, N., Ruscone, T. G., Porta, A., Lombardi, F., Pagani, M., & Malliani, A. (1994). Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation*, 90(4), 1826–1831. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.90.4.1826>
- Mukherjee, S., Yadav, R., Yung, I., Zajdel, D. P., & Oken, B. S. (2011). Sensitivity to mental effort and test-retest reliability of heart rate variability measures in healthy seniors. *Clinical Neurophysiology*, 122(10), 2059–2066. <http://doi.org/10.1016/J.Clinph.2011.02.032>
- Mulder, G. (1986). The concept and measurement of mental effort. In G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, & M. G. H. Coles (Eds.), *Energetics and Human Information Processing* (pp. 175–198). Springer Netherlands.
- Mulder, L. J. M. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Biological Psychology*, 34(2–3), 205–236.
- Muraven, M., Shmueli, D., & Burkley, E. (2006). Conserving self-control strength. *Journal of Personality and Social Psychology*, 91(3), 524–537. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.91.3.524>
- Muraven, M., & Slessareva, E. (2003). Mechanisms of self-control failure: Motivation and limited resources. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7), 894–906. <http://doi.org/10.1177/0146167203253209>
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). Economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86(3), 214–255. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.86.3.214>
- Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2014). A physiological study of relationship between designer’s mental effort and mental stress during conceptual design. *Computer-Aided Design*, 54, 3–18. <http://doi.org/10.1016/j.cad.2013.10.002>
- Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., Glahn, D. C., & Carter, C. S. (2012).

- Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 12(2), 241–268. <http://doi.org/10.3758/s13415-011-0083-5>
- Nies, K. J., & Sweet, J. J. (1994). Neuropsychological assessment and malingering: A critical review of past and present strategies. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 9(6), 501–552. [http://doi.org/10.1016/0887-6177\(94\)90041-8](http://doi.org/10.1016/0887-6177(94)90041-8)
- Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <http://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
- Obrist, P. (1981). *Cardiovascular psychophysiology*. New York: Plenum Press.
- Odland, A. P., Lammy, A. B., Martin, P. K., Grote, C. L., & Mittenberg, W. (2015). Advanced administration and interpretation of multiple validity tests. *Psychological Injury and Law*, 8(1), 46–63. <http://doi.org/10.1007/s12207-015-9216-4>
- Oppenheimer, S. M. (2007). Cortical control of the heart. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 74(27–29). http://doi.org/10.3949/ccjm.74.Suppl_1.S27
- Oppenheimer, S. M., Gelb, A., Girvin, J. P., & Hachinski, V. C. (1992). Cardiovascular effects of human insular cortex stimulation. *Neurology*, 42, 1727–1732.
- Oppenheimer, S. M., Kedem, G., & Martin, W. M. (1996). Left-insular cortex lesions perturb cardiac autonomic tone in humans. *Clinical Autonomic Research*, 6, 131–140.
- Orlandi, G., Fanucchi, S., Strata, G., Pataleo, L., Landucci Pellegrini, L., Prontera, C., ... Murri, L. (2000). Transient autonomic nervous system dysfunction during hyperacute stroke. *Acta Neurologica Scandinavica*, 102(5), 317–321. <http://doi.org/10.1034/j.1600-0404.2000.102005317.x>
- Overbeek, T. J. M., Van Boxtel, A., & Westerink, J. H. D. M. (2014). Respiratory sinus arrhythmia responses to cognitive tasks: Effects of task factors and RSA indices. *Biological Psychology*, 99(1), 1–14. <http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.02.006>
- Palma, J.-A., & Benarroch, E. (2014). Neural control of the heart. *Neurology*, 83(3), 261–271. <http://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000605>
- Park, G., & Thayer, J. F. (2014). From the heart to the mind: Cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–8. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00278>
- Plohmman, A., & Hurter, M. (2017). Prevalence of poor effort and malingered neurocognitive dysfunction in litigating patients in Switzerland. *Zeitschrift Für Neuropsychologie*, 27(2), 97–116.

- Porges, S. W. (1995). Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology*. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb01213.x>
- Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: Phylogenetic substrates of a social nervous system. *International Journal of Psychophysiology*, 42(2), 123–146. [http://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00162-3](http://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00162-3)
- Porges, S. W. (2003). The Polyvagal Theory: Phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology and Behavior*, 79(3), 503–513. [http://doi.org/10.1016/S0031-9384\(03\)00156-2](http://doi.org/10.1016/S0031-9384(03)00156-2)
- Pribram, K. H., & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82(2), 116–149.
- Raichle, M. E., & Gusnard, D. A. (2002). Appraising the brain's energy budget. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(16), 10237–10239. <http://doi.org/10.1073/pnas.172399499>
- Reitan, R., & Wolfson, D. (1997). Consistency of neuropsychological test scores of head-injured subjects involved in litigation compared with head-injured subjects not involved in litigation. *The Clinical Neuropsychologist*, 11(1), 69–76. <http://doi.org/10.1080/13854049708407031>
- Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans les cas d'encéphalopathie traumatique.(Les problems.). *Archives de Psychologie*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1943-03814-001>
- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., Van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5), 477–487. <http://doi.org/Doi 10.1111/Psyp.12027>
- Ribback, S. (2003). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Universitätsbibliothek Universität Potsdam.
- Robbins, T. W., & Everitt, B. J. (1994). Arousal Systems and Attention. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (Vol. 2, pp. 703–720). London: MIT Press.
- Rogers, R., Bender, S. D., & Johnson, S. F. (2011). A critical analysis of the MND criteria for feigned cognitive impairment: Implications for forensic practice and research. *Psychological Injury and Law*, 4, 147–156. <http://doi.org/10.1007/s12207-011-9107-2>
- Rohling, M. L., Binder, L. M., & Langhinrichsen-Rohling, J. (1995). Money matters: A meta-

- analytic review of the association between financial compensation and the experience and treatment of chronic pain. *Health Psychology*, 14(6), 537–547.
- Ronkainen, E. (2005). Suppressed circadian heart rate dynamics in temporal lobe epilepsy. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76(10), 1382–1386. <http://doi.org/10.1136/jnnp.2004.053777>
- Ruff, R., & Allen, C. (1996). Ruff 2 & 7 selective attention test: professional manual.
- Ruiz, M. A., Drake, E. B., Glass, A., Marcotte, D., & van Gorp, W. G. (2002). Trying to beat the system: Misuse of the internet to assist in avoiding the detection of psychological symptom dissimulation. *Professional Psychology: Research and Practice*, 33(3), 294–299. <http://doi.org/10.1037/0735-7028.33.3.294>
- Rushworth, M. F. S., Kolling, N., Sallet, J., & Mars, R. B. (2012). Valuation and decision-making in frontal cortex: One or many serial or parallel systems? *Current Opinion in Neurobiology*, 22(6), 946–955. <http://doi.org/10.1016/j.conb.2012.04.011>
- Sander, D., & Klingelhöfer, J. (1995). Stroke-associated pathological sympathetic activation related to size of infarction and extent of insular damage. *Cerebrovascular Diseases*, 5(6), 381–385. <http://doi.org/10.1159/000107888>
- Scerbo, M. W. (2001). Stress, workload, and boredom in vigilance : a problem and an answer. *Stress, Workload, and Fatigue*, 267–278.
- Schandry, R. (2006). Steuerung vegetativer Funktionen. In *Biologische Psychologie* (2. Auflage, pp. 162–176). Weinheim, Deutschland: Beltz.
- Schellig, D., Drechsler, R., Heinemann, D., & Sturm, W. (2009). *Handbuch neuropsychologischer Testverfahren*. (D. Schellig, Ed.). Göttingen: Hogrefe.
- Schmand, B., & Lindeboom, J. (2005). Amsterdam Short-term Memory Test: Amsterdamer Kurzzeitgedächtnistest.
- Schmand, B., & Merten, T. (2009). Grenzen und Probleme der Beschwerdenvalidierung. In T. Merten & H. Dettenborn (Eds.), *Diagnostik der Beschwerdenvalidität* (pp. 230–245). Berlin: Deutscher Psychologen Verlag.
- Schretlen, D. J., & Shapiro, A. M. (2003). A quantitative review of the effects of traumatic brain injury on cognitive functioning. *International Review of Psychiatry*, 15(August), 341–349. <http://doi.org/10.1080/09540260310001606728>
- Schwegler, J. (2011). *Der Mensch-Anatomie und Physiologie*. Georg Thieme Verlag.
- Seegerstrom, S. C., & Nes, L. S. (2007). Heart rate variability reflects self-regulatory strength, effort, and fatigue. *Psychological Science*, 18(3), 275–281. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01888.x>

- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–19. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>
- Shekhar, A., Sajdyk, T. J., Gehlert, D. R., & Rainnie, D. G. (2006). The Amygdala, Panic Disorder, and Cardiovascular Responses. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 985(1), 308–325. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb07090.x>
- Šidák, Z. (1967). Rectangular confidence regions for the means of multivariate normal distributions. *Journal of the American Statistical Association*.
- Slick, D. J., & Sherman, E. M. S. (2012). Differential diagnosis of malingering and related clinical presentations. *Pediatric Forensic Neuropsychology*, 113–135.
- Slick, D. J., & Sherman, E. M. S. (2013). Differential diagnosis of malingering. In D. Carone & S. S. Bush (Eds.), *Mild Traumatic Brain Injury: Symptom Validity Assessment and Malingering* (pp. 57–72). Springer. <http://doi.org/10.13140/2.1.2887.7609>
- Slick, D. J., Sherman, E. M. S., & Iverson, G. L. (1999). Diagnostic criteria for malingered neurocognitive dysfunction: proposed standards for clinical practice and research. *The Clinical Neuropsychologist*, 13(4), 545–561. [http://doi.org/10.1076/1385-4046\(199911\)13:04;1-Y;FT545](http://doi.org/10.1076/1385-4046(199911)13:04;1-Y;FT545)
- Smith, R., Thayer, J. F., Khalsa, S. S., & Lane, R. D. (2017). The hierarchical basis of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 75, 274–296. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.003>
- Sollman, M. J., & Berry, D. T. R. (2011). Detection of inadequate effort on neuropsychological testing: A meta-analytic update and extension. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(8), 774–789. <http://doi.org/10.1093/arclin/acr066>
- Sörös, P., & Hachinski, V. (2012). Cardiovascular and neurological causes of sudden death after ischaemic stroke. *The Lancet Neurology*, 11(2), 179–188. [http://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70291-5](http://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70291-5)
- Spren, O. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. Oxford University Press.
- Stauss, H. M. (2003). Heart rate variability. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 285(5), R927–R931. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00452.2003>
- Stemmler, G. (2004). Physiological processes during emotion. In R. Philippot & R. S. Feldman (Eds.), *The regulation of emotion* (pp. 33–70). Mahwah.
- Stevens, A., Friedel, E., Mehren, G., & Merten, T. (2008). Malingering and

- uncooperativeness in psychiatric and psychological assessment: prevalence and effects in a German sample of claimants. *Psychiatry Research*, 157(1–3), 191–200. <http://doi.org/10.1016/j.psychres.2007.01.003>
- Stewart, C. C., Wright, R. A., Hui, S. K., & Simmons, A. (2009). Outcome expectancy as a moderator of mental fatigue influence on cardiovascular response. *Psychophysiology*, 46(6), 1141–1149. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00862.x>
- Strittmatter, M., Meyer, S., Fischer, C., Georg, T., & Schmitz, B. (2003). Location-dependent patterns in cardio-autonomic dysfunction in ischaemic stroke. *European Neurology*, 50, 30–38. <http://doi.org/10.1159/000070856>
- Stroop, J. (1935). Stroop color word test. *Journal of Experimental Physiology*.
- Stuiver, A., de Waard, D., Brookhuis, K. A., Dijksterhuis, C., Lewis-Evans, B., & Mulder, L. J. M. (2012). Short-term cardiovascular responses to changing task demands. *International Journal of Psychophysiology*, 85(2), 153–160. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.06.003>
- Sturm, W., & Wallesch, C. (2007). Störungen höherer Hirnleistungen: Aufmerksamkeit, Gedächtnis und exekutive Funktionen. *Begutachtung in Der Neurologie*.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, 63(3–4), 289–298. <http://doi.org/10.1007/s004269900007>
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2007). Is there a dysexecutive syndrome? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 362(1481), 901–915. <http://doi.org/10.1098/rstb.2007.2096>
- Swick, D., & Turken, A. U. (2002). Dissociation between conflict detection and error monitoring in the human anterior cingulate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(25), 16354–9. <http://doi.org/10.1073/pnas.252521499>
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J. P., Lipponen, J. A., Ranta-aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV - Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210–220. <http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
- Task Force. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Teichner, G., & Wagner, M. T. (2004). The Test of Memory Malingering (TOMM):

- Normative data from cognitively intact, cognitively impaired, and elderly patients with dementia. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(3), 455–464. [http://doi.org/10.1016/S0887-6177\(03\)00078-7](http://doi.org/10.1016/S0887-6177(03)00078-7)
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 747–756. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 141–153. <http://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61, 201–216.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81–88. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Tice, D. M., Baumeister, R. F., Shmueli, D., & Muraven, M. (2007). Restoring the self: Positive affect helps improve self-regulation following ego depletion. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(3), 379–384. <http://doi.org/DOI10.1016/j.jesp.2006.05.007>
- Tokgozoglu, S. L., Batur, M. K., Topcuoglu, M. A., Saribas, O., Kes, S., & Oto, A. (1999). Effects of stroke localization on cardiac autonomic balance and sudden death. *Stroke*, 30(7), 1307–1311. <http://doi.org/10.1161/01.STR.30.7.1307>
- Tombaugh, T. (1996). *Test of memory malingering: TOMM*. North Tonawanda: Multi-Health Systems.
- Trepel, M. (2008). *Neuroanatomie: Struktur und Funktion* (4. Auflage). München: Elsevier, Urban & Fischer Verlag.
- van der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*, 113(1), 45–65. [http://doi.org/10.1016/S0001-6918\(02\)00150-6](http://doi.org/10.1016/S0001-6918(02)00150-6)
- Van Roon, A. M., Mulder, L. J. M., Althaus, M., & Mulder, G. (2004). Introducing a baroreflex model for studying cardiovascular effects of mental workload. *Psychophysiology*, 41(6), 961–981. <http://doi.org/10.1111/j.0048-5772.2004.00251.x>
- Veltman, J. A., & Gaillard, A. W. (1996). Physiological indices of workload in a simulated

- flight task. *Biological Psychology*, 42(3), 323–342. [http://doi.org/10.1016/0301-0511\(95\)05165-1](http://doi.org/10.1016/0301-0511(95)05165-1)
- Venables, L., & Fairclough, S. H. (2009). The influence of performance feedback on goal-setting and mental effort regulation. *Motivation and Emotion*, 33(1), 63–74. <http://doi.org/10.1007/s11031-008-9116-y>
- Vohs, K. D., Baumeister, R. F., & Schmeichel, B. J. (2012). Motivation, personal beliefs, and limited resources all contribute to self-control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(4), 943–947. <http://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.03.002>
- Von Aster, M., Neubauer, A., & Horn, R. (2006). Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (WIE). Deutschsprachige Bearbeitung und Adaptation des WAIS-III von David Wechsler. *Frankfurt/Main, Germany: Harcourt Test Services*.
- Voss, A., Schulz, S., Schroeder, R., Baumert, M., & Caminal, P. (2009). Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1887), 277–296. <http://doi.org/10.1098/rsta.2008.0232>
- Wallis, J. D., & Kennerley, S. W. (2011). Contrasting reward signals in the orbitofrontal cortex and anterior cingulate cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1239(1), 33–42. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06277.x>
- Walter, F. (2011). *Diagnostik der Beschwerdenvalidität von psychischen Störungen in der sozialmedizinischen Begutachtung Danksagung*.
- Walter, U., Kolbaske, S., Patejdl, R., Steinhagen, V., Abu-Mugheisib, M., Grossmann, A., ... Benecke, R. (2013). Insular stroke is associated with acute sympathetic hyperactivation and immunodepression. *European Journal of Neurology*, 20(1), 153–159. <http://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2012.03818.x>
- Warm, J. S., Matthews, G., & Finomore, V. S. (2008). Vigilance, workload, and stress. In P. A. Hancock & J. Szalma (Eds.), *Performance under stress* (pp. 115–141). Ashgate.
- Wechsler, D. (2009). Wechsler memory scale–fourth edition (WMS-IV).
- Werle, C. O. C., Wansink, B., & Payne, C. R. (2014). Is it fun or exercise? The framing of physical activity biases subsequent snacking. *Marketing Letters*, 26(4), 691–702. <http://doi.org/10.1007/s11002-014-9301-6>
- Westbrook, A., & Braver, T. S. (2015). Cognitive effort: A neuroeconomic approach. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 15(2), 395–415. <http://doi.org/10.3758/s13415-015-0334-y>
- Wickens, C. D. (1976). Effects of divided attention on information-processing in manual

- tracking. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 2(1), 1–13.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 239–257). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In *Multiple-Task Performance* (pp. 3–34). London: Taylor and Francis Ltd.
- Widder, B. (2011). Beurteilung der Beschwerdenvalidität. In B. Widder & P. W. Gaidzik (Eds.), *Begutachtung in der Neurologie* (2. vollstä, pp. 64–92). Stuttgart, New York, Deli, Rio.
- Wirtz, G., Baas, U., Hofer, H., Nyffeler, T., Seifritz, E., Müri, R., & Gutbrod, K. (2008). Psychopathologie des Ganser-Syndroms. *Der Nervenarzt*, 79(5), 543–557. <http://doi.org/10.1007/s00115-008-2411-8>
- Wood, R., Maraj, B., Lee, C. M., & Reyes, R. (2002). Short-term heart rate variability during a cognitive challenge in young and older adults. *Age Ageing*, 31(2), 131–135. <http://doi.org/10.1093/ageing/31.2.131>
- World Health Organization. (2004). International statistical classification of diseases and related health problems.
- Wright, R. A., & Kirby, L. D. (2001). Effort determination of cardiovascular response: An integrative analysis with applications in social psychology. In M. P. Zanna (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 33, pp. 255–307). New York, NY: Academic Press.
- Xiong, L., Leung, H. H. W., Chen, X. Y., Han, J. H., Leung, T. W. H., Soo, Y. O. Y., ... Wong, L. K. S. (2013). Comprehensive assessment for autonomic dysfunction in different phases after ischemic stroke. *International Journal of Stroke*, 8(8), 645–651. <http://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2012.00829.x>
- Xu, Y. H., Wang, X. De, Yang, J. J., Zhou, L., & Pan, Y. C. (2016). Changes of deceleration and acceleration capacity of heart rate in patients with acute hemispheric ischemic stroke. *Clinical Interventions in Aging*, 11(11), 293–298. <http://doi.org/10.2147/CIA.S99542>
- Zimmermann, P., & Fimm, B. (2009). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung-Version 2.2:(TAP);[Handbuch]*. Psytest.

Appendix

Appendix A

Tabelle 12

Überblick über im deutschen Sprachraum verwendete standardisierte Leistungsvergütungstests, die nach dem Prinzip der Alternativwahlverfahren oder daraus abgeleiteter Prinzipien entwickelt wurden. Adaptiert nach Merten, 2014.

Name des Verfahrens (Abkürzung), Autoren	Verwendetes Testmaterial (Itemzahl)	Verlag	Vorteile des Verfahrens	Nachteile des Verfahrens
Aggravations- und Simulationstest (AST), Eberl & Wilhelm (2007)	Bilder, Wörter, Zahlen (70)	Mnemo-Verlag, Lüdenscheid	Deutsche Entwicklung; deutschsprachiges Handbuch, relativ preiswert	Eingeschränkte Datenlage zum Test; keine ausreichende unabhängige Validierung; durch die konsekutive Darbietung des Zielitems bis zur Antwortgabe wird die tatsächliche Leichtigkeit kaum verdeckt
Amsterdamer Kurzzeitgedächtnistest (ASTM, AKGT), Schmand & Lindenboom (2005)	Semantisch assoziierte Wörter (30)	PITS Verlag, Leiden NL	Originäres Testprinzip (3-aus-5-Wahl); daher erschwerte Durchschaubarkeit, erschwertes Coaching; deutschsprachiges Handbuch; ausführliche Validierung der deutschen Version; englische und niederländische Testversion vorhanden	Nicht anwendbar bei Probanden mit klinisch offenkundigen kognitiven Störungen; nur Computerversion verfügbar
Bremer Symptomvalidierung (BSV), Heubrock & Petermann (2000)	Objektabbildungen (100)	Pearson Assessment, Frankfurt/Main	Deutschsprachige Entwicklung; deutschsprachiges Handbuch	Eingeschränkte Datenlage zum Test; keine ausreichende unabhängige Validierung; durch die konsekutive Darbietung von Zielitem bis zur Antwortabgabe wird die tatsächliche Leichtigkeit kaum verdeckt

Fortsetzung Tabelle 12

Name des Verfahrens (Abkürzung), Autoren	Verwendetes Testmaterial (Itemzahl)	Verlag	Vorteile des Verfahrens	Nachteile des Verfahrens
Coin-in-the Hand Test, Kapur (1994)	Münzen (10)	Zeitschriften- veröffentlichung	Einfach und schnell durchführbar; kostenfreier Test, bettseitig durchführbar	Nur für die Untersuchung der Authentizität geltend gemachter sehr schwerer kognitiver Störungen; nur für sehr grobe Vortäuschungsversuche geeignet; leicht durchschaubar; eingeschränkte statistische Power
Computerized Assessment of Response Bias (CARB); Allen, Conder, Green & Cox (1997)	Ziffernfolgen (111)	Cognisyst, Durham NC	Test (Ziffernfolgen) auch bei geringen Sprachkenntnissen anwendbar	Kein deutsches Handbuch; keine veröffentlichten deutschsprachigen Arbeiten zu diesem Test; Test ist vermutlich einfach zu coachen
Medical Symptom Validity Test (MSVT), Green (2004)	Wörter (sehr leicht assoziierbare Wortpaare) (20)	Geen's Publishing, Edmonton, Canada	Vereinfachte Version des WMT, zur Minimierung falsch-positiver Klassifikationen bei demenziellen Erkrankungen entwickelt; Profilabgleich möglich (Profil authentischer schwerer kognitiver Leistungsstörungen); validierte deutsche Version in die Computerversion integriert	Keine Papier-Bleistift-Version verfügbar; kein deutsches Handbuch

Fortsetzung Tabelle 12

Name des Verfahrens (Abkürzung), Autoren	Verwendetes Testmaterial (Itemzahl)	Verlag	Vorteile des Verfahrens	Nachteile des Verfahrens
Non-Verbal Symptom Validity Test (NV-MSVT), Green (2008)	Objektabbildungen (10)	Green's Publishing, Edmonton Canada	Figurales Material, Test bei Probanden mit eingeschränkten Deutschkenntnissen einsetzbar; Profilauswertung zur Plausibilitätsprüfung; Daten von Patienten mit demenziellen Syndromen verfügbar	Noch eingeschränkte empirische Studienlage; kein deutsches Handbuch
Test of Memory Malinger (TOMM), Tombaugh (1996)	Strichzeichnungen von Objekten und Tieren (50)	Multi-Health Systems, North Tonawanda NY	Weltweit verbreiteter Test mit breiter empirischer Datenbasis; sehr gut validiert, zahlreiche Studien; sprachfreier Test; hohe Augenscheinvalidität; Computer- und Papier- Bleistift-Version verfügbar	Kein deutschsprachiges Handbuch; möglicherweise relativ reduzierte Sensitivität im Vergleich zu anderen Verfahren
Word Memory Test (WMT), Green (2003)	Paarweise assoziiierbare Wörter (40)	Green's Publishing, Edmonton, Canada	Multilinguale Testversionen; deutsche Version in die Computerversion integriert; zahlreiche Vergleichsgruppen; Profilauswertung; Papier- und Bleistift-Version für spezielle Kontexte verfügbar	Kein deutschsprachiges Handbuch; hohe Sensitivität bei möglicherweise reduzierter Spezifität

Appendix B

Tabelle 13

Reihenfolge der durchgeführten Aufgaben während der neuropsychologischen Untersuchung inklusive Erhebungsmethode, neuropsychologischer Funktion und Dauer der Aufgabe.

Nr.	Testverfahren	Erhebungs- methode	Neuropsychologische Funktion	Ungefähre Dauer (hh:mm:ss)
1	Maximale Handkraft			00:00:30
2	Personalienblatt	PP ⁶⁾		*00:02:00
3	Naturaufnahmen der Schweiz anschauen (Swiss View)	CB ⁷⁾	Visuelle Wahrnehmung	00:01:30
4	Kopfrechnen (Kirschbaum, Pirke & Hellhammer, 1993)	VT ⁸⁾	Arbeitsgedächtnis	*00:04:00
5	Naturaufnahmen der Schweiz anschauen (Swiss View)	CB	Visuelle Wahrnehmung	00:01:30
6	Sprachliche Sequenzen (Härting et al., 2000)	VT	Verbale Produktion	*00:00:30
7	Rey Figur Kopie (Rey, 1941)	PP	Visuell-räumliche Wahrnehmung	*00:02:00
8	WMS-R ¹⁾ I	VT	Semantisches Gedächtnis	*00:05:00
9	VLMT ²⁾	VT	Verbales Gedächtnis	*00:10:00
10	WIE ³⁾ Untertest Gemeinsamkeiten finden	VT	Abstraktes Denkvermögen	*00:07:00
11	WIE Untertest Allgemeines Wissen	VT	Abstraktes Denkvermögen	*00:05:00
12	Rey Figur - Abruf	PP	Visuelles Gedächtnis	*00:02:00
13	WMS-R II	PP	Semantisches Gedächtnis	*00:05:00
14	VLMT Abruf	VT	Verbales Gedächtnis	*00:02:00
15	VLMT Wiedererkennen	VT	Verbales Gedächtnis	*00:03:00
16	WIE Untertest Zahlenspanne vorwärts	VT	Arbeitsgedächtnis	*00:05:00
17	WIE Untertest Zahlenspanne rückwärts	VT	Arbeitsgedächtnis	*00:05:00
18	WIE Untertest Allgemeines Verständnis	VT	Verbales Denkvermögen	*00:15:00
19	WIE Untertest Bilderergänzen	ViT ⁹⁾	Visuell logisches Denken	*00:05:00
20	WIE Untertest Zahlensymboltest	PP	Verarbeitungsgeschwindigkeit	00:02:00
21	Fragebogen zur Untersuchungsmotivation			*00:02:00
22	Bremer Symptomvalidierung (Heubrock & Petermann, 2000)	ViT	Symptomvalidierungstest	*00:06:00
23	WIE Untertest Mosaiktest	ViT	Räumliches Denkvermögen	*00:10:00
24	RWT ⁴⁾ semantische Wortproduktion Kategorie "Tiere"	VT	Semantische Wortflüssigkeit	00:02:00

Appendix B

Fortsetzung Tabelle 13

Nr.	Testverfahren	Erhebungs-		Ungefähre Dauer (hh:mm:ss)
		methode	Neuropsychologische Funktion	
25	RWT phonematische Wortproduktion Anfangsbuchstabe "S"	VT	Phonematische Wortflüssigkeit	00:02:00
26	Token-Test (De Renzi & Vignolo, 1962)	VT	Instruktionsverständnis	*00:02:00
27	Rapid Naming	VT	Verbale Flüssigkeit	*00:01:00
28	Chapman-Cook (Chapman, 1924)	PP	Leseverständnis	*00:03:00
29	Kurzdiktat	PP	Schreibfertigkeiten	*00:01:00
30	Stroop-Test (Stroop, 1935)	ViT, VT	Inhibition	*00:02:00
31	Kramer	ViT	Visuell-logisches Denkvermögen	*00:04:00
32	Corsi-Block-Tapping-Test (Kessels, van Zandvoort, Postma, Kappelle & de Haan, 2000)	ViT	Arbeitsgedächtnis	*00:04:00
33	RUFF 2&7 Selective Attention Test (Ruff & Allen, 1996)	PP	Aufmerksamkeit, Verarbeitungsgeschwindigkeit	00:05:00
34	5-Punkte Test (Spreen, 1998)	PP	Verarbeitungsgeschwindigkeit	00:03:00
35	Stroop Interference Go-Nogo Test (Fehlmann & Jokeit, 2017)	PP	Verarbeitungsgeschwindigkeit, Inhibition	00:02:00
36	TAP ⁵⁾ Untertest Alertness	CB	Aufmerksamkeit	00:05:00
37	TAP Untertest geteilte Aufmerksamkeit	CB	Aufmerksamkeit	00:04:00
38	Naturaufnahmen der Schweiz anschauen	CB	Visuelle Wahrnehmung	00:01:30
39	Kopfrechnen	VT	Arbeitsgedächtnis	*00:04:00
	Naturaufnahmen der Schweiz anschauen	CB	Visuelle Wahrnehmung	00:01:30
	Maximale Handkraft			00:00:30
	Maximale Handkraft für NC-Gruppe			00:00:30
Geschätzte Gesamtdauer für alle Aufgaben:				02:28:00
Zusätzliche Zeit für Instruktionen				*00:10:00
Geschätzte Gesamtdauer für die Neuropsychologische Untersuchung:				02:38:00
Pausen zwischen den Aufgaben				00:15:00

Bemerkung: * = ungefähre Dauer der Aufgabe. Exakte Dauer ist von der individuellen Bearbeitung abhängig.

1) WMS-R = Wechsler Gedächtnistest – revidierte Fassung (Härting et al., 2000), 2) VLMT = Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest (Helmstaedter, Lendt & Lux, 2001), 3) WIE = Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (Von Aster, Neubauer & Horn, 2006), 4) RWT = Regensburger Wortflüssigkeitstest (Aschenbrenner, Tucha & Lange, 2000), 5) TAP=Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (Zimmermann & Fimm, 2009), 6) PP = Paper Pencil Aufgabe, 7) CB = Computerbasierte Aufgabe, 8) VT = Verbale Aufgabe, 9) ViT = Visuelle Aufgabe; Alle verbalen und visuellen Aufgaben werden durch den Testleiter protokolliert.

Appendix C

Beschreibung der Testaufgaben

Anamnese:

Zu Beginn der Untersuchung wurde mit allen Teilnehmenden eine kurze Anamnese durchgeführt. Dabei wurden die Probanden zu ihren demografischen Angaben, ihrem Rauschmittelkonsum sowie möglicher regelmässiger Medikamenteneinnahme befragt.

Die neurologischen Patienten wurden gebeten, Angaben zur Genese ihrer Hirnverletzung zu machen, und dazu, was sich seitdem für sie verändert hat, insbesondere wo die aktuellen Schwierigkeiten liegen.

Maximale Handkraft:

Mit einem hydraulischen Handdynamometer (Seahan Corporation, Süd Korea) wurde die maximale willentliche Handkraft erfasst. Für die NC-Gruppe fand zusätzlich nach Offenlegung der Gruppenzugehörigkeit ein Durchgang statt, um die Veränderung der HR als Kontrollvariable verwenden zu können. Ziel dieser Aufgabe ist es, die Herzratenveränderung durch physische Anstrengung zu erzielen. Um die physische Anstrengung herbeizuführen, mussten die Probanden das Dynamometer in ihre dominante Hand nehmen und den Arm rechtwinklig an den Oberkörper legen, wobei der Arm nicht aufgestützt werden darf. Auf das Startkommando der Versuchsleitung mussten die Probanden während 30 Sekunden mit maximalem Krafteinsatz zudrücken. Der höchste erzielte Wert wurde in Kilogramm vom Gerät abgelesen.

Swiss View (Swissview AG, Zürich)

Um die gelösten Aufgaben mit einer Bedingung, die minimale kognitive Anforderungen aufweist, vergleichen zu können, wurden den Probanden während vier Mal 90 Sekunden Luftaufnahmen der Schweizer Alpen auf einem Laptop abgespielt. Die vier Ausschnitte wurden jeweils direkt vor und nach der Aufgabe *mentale Arithmetik* abgespielt. Die Probanden wurden informiert, dass es sich um Luftaufnahmen der Schweizer Alpen handelt und nichts Überraschendes oder etwas, das sie erschrecken könnte, passiert und sie den Film ruhig und entspannt ansehen sollen.

Mentale Arithmetik (adaptiert nach dem Trier Sozialer Stress Tests; Kirschbaum et al., 1993)

Die Aufgabe mentale Arithmetik wird ganz zu Beginn und zum Ende der Untersuchung durchgeführt. Sie stellt besonders hohe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis, da von einer dreistelligen Zahl (Startzahl Durchgang 1: 523, Durchgang 2: 597) die Zahl 17 subtrahiert

werden muss, bis eine Zahl erreicht wird, von der nicht mehr 17 abgezogen werden kann. Unterläuft dem Probanden ein Fehler, muss die Aufgabe wieder von Vorne begonnen werden. Die Aufgabe wird solange durchgeführt, bis der Proband fertig wird.

Rey-Osterrieth Complex Figure Test (Rey, 1941)

Die Rey-Osterrieth Figur ist eine komplexe abstrakte Figur, die durch den Probanden möglichst genau von einer Vorlage abgezeichnet werden muss. Dadurch können Rückschlüsse auf die visuell-räumliche Konstruktionsfähigkeit gezogen werden. Ebenfalls wird der Proband nach ca. 30 Minuten aufgefordert, die Figur aus dem Gedächtnis zu zeichnen, was zusätzlich Rückschlüsse auf die visuelle Gedächtnisleistung erlaubt. Für jede korrekte, an der richtigen Stelle gezeichnete Form gibt es zwei Punkte. Die maximal mögliche Punktzahl beträgt 36. Bei falscher Platzierung oder unvollständigen oder ungenauen Formen gibt es 0.5 bis 1.5 Punkte Abzug.

Wechsler Memory Scale (Wechsler, 2009)

Aus der Testbatterie Wechsler Memory Scale –IV wurden die Untertests Logisches Gedächtnis 1 und 2 verwendet. Dem Probanden werden zwei Kurzgeschichten vorgelesen, die er unmittelbar nach dem Vorlesen möglichst detailliert wiedergeben soll. Nach ca. 30 Minuten erfolgt ein freier Abruf aus dem Gedächtnis. Für korrekt erinnerte Details erhält der Versuchsteilnehmende jeweils 1 Punkt. Die Gesamtzahl der Punkte über beide Geschichten wird zu beiden Zeitpunkten aufaddiert.

Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest (Helmstaedter et al., 2001)

Mit dem VLMT werden die verbale Lernleistung und das verbale Gedächtnis untersucht. Den Teilnehmenden wird eine Wortliste von 15 Wörtern (Lernliste) fünf Mal vorgelesen. Nach jedem dieser fünf Durchgänge müssen alle erinnerten Wörter wiederholt werden. Nach dem fünften Durchgang erfolgt ein Distraktionsdurchgang, bei dem 15 neue Wörter vorgelesen werden, von denen die Versuchspersonen ebenfalls so viele Wörter wie möglich wiedergeben sollen. Auf den Distraktionsdurchgang erfolgt unmittelbar ein erneuter Abruf der Lernliste. Nach mindestens 30 Minuten erfolgen zuerst ein Gedächtnisabruf der Liste sowie anschliessend ein Wiedererkennungsdurchgang. Beim Wiedererkennungsdurchgang werden Wörter aus der Lernliste, der Interferenzliste sowie semantisch ähnliche Wörter zur Lern- oder Interferenzliste vorgelesen. Der Proband muss angeben, ob das Wort der Lernliste angehört oder nicht. Wichtige Hinweise hinsichtlich der verbalen Erfassungsspanne gibt die

Summe der korrekt erinnerten Wörter nach dem ersten Durchgang. Die Summe der genannten Wörter der ersten fünf Durchgänge gibt Auskunft über die Lernleistung. Zur Bestimmung der Interferenzanfälligkeit wird die Differenz zwischen dem fünften und dem sechsten Durchgang berechnet. Die Differenz zwischen dem fünften und siebten Durchgang gibt Auskunft über die Erinnerungsleistung.

Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (Von Aster et al., 2006)

Der Wechsler Intelligenztest für Erwachsene ist eine Testbatterie zur Schätzung des IQ. Basierend auf verschiedenen Untertests kann die Schätzung des IQ vorgenommen werden. Dazu gehören die Untertests Gemeinsamkeitenfinden (GF), Allgemeines Wissen (AW), Allgemeines Verständnis (AV), Mosaiktest (MT), Bilderergänzen (BE), Zahlennachsprechen vorwärts und rückwärts (ZN) und der Zahlensymboltest (ZS). Aus den Untertests GF, AV und AW wird ein Schätzer für den Verbal-IQ berechnet, aus den Untertests MT, BE und ZS ein Handlungs-IQ. Beide zusammen ergeben den Gesamt-IQ.

Beim Untertest GF wird jeweils von zwei Begriffen der gemeinsame Überbegriff gesucht. Dieser Test erfasst die verbale Konzeptbildung. Der Untertest AW ermittelt die Fähigkeit, enzyklopädisches Wissen anzusammeln, zu speichern und wieder abzurufen. Er beinhaltet Fragen zu bekannten Ereignissen, Sachverhalten, Orten und Persönlichkeiten. Das AV untersucht das Verständnis von allgemein gültigen Prinzipien, sozialen Situationen sowie Regeln und dient der Erfassung von verbalem Verständnis und Ausdrucksvermögen.

Beim MT soll der Versuchsteilnehmende mit Hilfe von zweifarbigen Würfeln unterschiedliche Mustervorlagen mit zunehmender Komplexität möglichst schnell in einem bestimmten Zeitfenster nachbauen. Der Test erfasst die Fähigkeit, abstrakte, visuelle Reize zu analysieren und zu integrieren. Beim BE muss in einer Reihe von Bildern jeweils ein fehlendes, aber wichtiges Detail entdeckt werden. Diese Aufgabe dient der Erfassung des wahrnehmungsgebundenen logischen Denkens. Der ZS dient der Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Dabei müssen während zwei Minuten eine Reihe von Zahlen bestehend aus den Ziffern 1 bis 9 anhand eines Codierschlüssels vordefinierten Symbolen zugeordnet werden. Die Probanden sollen dabei so schnell wie möglich, aber auch so genau wie möglich arbeiten.

Zusätzlich wird das ZN sowohl vorwärts als auch rückwärts durchgeführt. Die Versuchsleiterin spricht immer länger werdende Zahlenreihen vor, welche vom Probanden in derselben Reihenfolge oder rückwärts wiederholt werden müssen. Das ZN vorwärts erlaubt Rückschlüsse auf die verbale Erfassungsspanne, das ZN rückwärts hingegen auf das verbale Arbeitsgedächtnis.

Semantische und phonematische Wortproduktion (Aschenbrenner et al., 2000)

Die beiden Untertests des RWT dienen der Erfassung der phonematischen beziehungsweise semantischen Wortflüssigkeit. Diese beiden Fertigkeiten lassen sich den Exekutivfunktionen zuordnen. Die Versuchsteilnehmenden haben dabei je zwei Minuten Zeit, um möglichst viele Tiere (semantisch) beziehungsweise Wörter, die mit dem Anfangsbuchstaben „S“ beginnen (phonematisch), aufzuzählen. Jedes Wort darf nur einmal genannt werden. Bei der phonematischen Wortproduktion dürfen zudem keine Wortstammwiederholungen erfolgen und es dürfen keine Eigennamen genannt werden. Für jedes korrekt genannte Wort gibt es einen Punkt.

Token-Test (De Renzi & Vignolo, 1962)

Das Testmaterial für diesen Untertest besteht aus 10 Plättchen, sogenannten Tokens, die sich unverwechselbar unterscheiden. Die Versuchsteilnehmenden werden mündlich aufgefordert, die Tokens nach unterschiedlichen Kriterien vor sich anzuordnen. Dadurch werden das rezeptive Sprachverständnis sowie die Aufmerksamkeitsleistung untersucht.

Rapid Naming (Adaptation der Aufgabe „Schnelles Benennen“ aus dem Zürcher Lesetest (Linder & Grisseemann, 1968)

Beim Rapid Naming wird den Versuchsteilnehmenden ein Blatt mit verschiedenen bekannten Objekten (Tiere, Gemüse, Früchte) vorgelegt. Die Objekte müssen so schnell wie möglich der Reihe nach benannt werden. Gemessen wird die Zeit, um alle Objekte zu benennen, sowie die Anzahl Fehler. Dieser Test erfasst die visuelle Wahrnehmung (Erkennen von Gegenständen), das semantische Gedächtnis und die Wortfindung.

Chapman-Cook- Lesetest (deutsche Version nach Chapman, 1924)

Die Versuchsteilnehmenden müssen in zwölf kurzen Textabschnitten jeweils das Wort finden, das nicht in den Kontext passt und dieses durchstreichen. Wichtig ist dabei neben der

korrekten Identifizierung des falschen Wortes auch die Geschwindigkeit, mit welcher der Test gelöst wird.

Kurzdiktat

Zur kursorischen Prüfung der schriftsprachlichen Fertigkeiten wird den Versuchsteilnehmenden ein kurzer Satz vorgelesen, den sie aufschreiben sollen.

Strooptest (Stroop, 1935)

Der Strooptest ist ein Verfahren zur Messung der individuellen Interferenzneigung. Das Verfahren besteht aus drei Durchgängen, wobei in jedem Durchgang die Geschwindigkeit sowie die Anzahl Fehler erfasst werden. Im ersten Durchgang müssen die Versuchsteilnehmenden so schnell wie möglich die Farbe von Punkten benennen. Beim zweiten Durchgang sind an Stelle der Punkte Wörter (u.a. aber, und, wenn). Von diesen Wörtern soll so schnell wie möglich die Druckfarbe der Wörter benannt werden. Im dritten Durchgang sind Farbwörter in Farben gedruckt, wobei das Wort nicht mit der Druckfarbe übereinstimmt. So ist beispielsweise das Wort Gelb in blauer Farbe gedruckt. Auch hier muss die Druckfarbe so schnell wie möglich benannt werden. Bei dieser letzten Bedingung tritt ein mentaler Verarbeitungskonflikt auf. Trainierte Handlungen laufen nahezu automatisch ab (Benennen von Farbpunkten), während ungewohnte Handlungen wie das Benennen der Farbe anstelle des Lesens der Farbwörter vermehrt Aufmerksamkeit benötigen. Zusätzlich muss die vorherrschende Reaktion, das Wort zu lesen, unterdrückt werden, damit die Farbe genannt werden kann, was eine erhöhte Impulskontrolle erfordert. Das Auftreten des mentalen Verarbeitungskonflikts zeigt sich in einer langsameren Geschwindigkeit und vermehrten Fehlern in der dritten Bedingung.

2-Gruppentest nach Kramer (Kramer, 1972)

Bei dieser Aufgabe werden den Versuchsteilnehmern acht verschiedene Karten vorgelegt. Auf diesen acht Karten sind Symbole in verschiedenen Farben, Formen, Grössen und Liniendicken. Die Karten sollen jeweils in zwei Gruppen à vier Karten gruppiert werden, die sich in einem Merkmal (z.B. Farbe) unterscheiden. Zur erfolgreichen Durchführung dieser Kategorisierungsaufgabe werden mentale Flexibilität sowie Umstellfähigkeit benötigt.

Corsi-Block-Tapping-Test (Kessels et al., 2000)

Der Corsi-Block-Tapping-Test dient der Erfassung der visuellen Erfassungsspanne. Zur Durchführung wird ein Brett, auf dem neun identische Würfel fixiert sind, verwendet. Dabei berührt die Versuchsleitung die Würfel in einer bestimmten Reihenfolge. Diese Reihenfolge muss vom Versuchsteilnehmenden korrekt wiederholt werden, wobei die Sequenzen immer länger werden.

Ruff 2&7 Selective Attention Test (Ruff & Allen, 1996)

Ein Aufmerksamkeitstest, welcher als Indikator für selektive als auch für Daueraufmerksamkeit genutzt werden kann. Dabei müssen während fünf Minuten auf einem A3 Blatt möglichst viele der Ziffern 2 und 7 durchgestrichen werden. Die Zahlen 2 und 7 sind je nach Block, in denen die Aufgabe gegliedert ist, von Zahlen oder Buchstaben umgeben. Ausgewertet werden die Anzahl richtig durchgestrichener Zielreize als Index für die selektive Aufmerksamkeit, fälschlicherweise durchgestrichene Distraktoren als auch verpasste Zielreize.

5-Punktetest nach Regard (Spreen, 1998)

Der 5-Punktetest besteht aus quadratischen Feldern, die jeweils fünf Punkte zeigen, die wie auf einem Würfel angeordnet sind. Die Versuchsteilnehmenden sollen innerhalb von drei Minuten möglichst viele verschiedene Muster produzieren. Um Muster zu produzieren müssen zwei oder mehr Punkte mit geraden Linien verbunden werden. Der 5-Punktetest dient der Erfassung der figuralen Ideenproduktion sowie des divergenten Denkens.

Stroop Interference Go-Nogo Tests (Fehlmann & Jokeit, 2017)

Der STING ist eine nicht-sprachliche, adaptierte Version des Stroop-Tests und besteht aus zwei Durchgängen. Im ersten Durchgang sollen während 40 Sekunden auf einem A4-Blatt mit Farbwörtern alle Wörter durchgestrichen werden mit Ausnahme des Wortes GELB. Im zweiten Durchgang sind die Farbwörter in verschiedenen Farben gedruckt. Hier müssen alle Wörter durchgestrichen werden, bei denen Wortbedeutung und Druckfarbe nicht übereinstimmen. Mit dem STING wird die mentale Verarbeitungsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeit, Inhibition sowie die lexikalisch-semantische Verarbeitung erfasst. Die Leistung im zweiten Durchgang stellt im Bezug auf alle Komponenten höhere Anforderungen an den Versuchsteilnehmenden. Die erreichte Punktzahl im zweiten Teil gibt Auskunft über die absolute neuropsychologische Leistungsfähigkeit. Der Quotient der Punktzahlen des

ersten und zweiten Teils gibt an, wie stark man durch die höheren Anforderungen des zweiten Durchgangs verlangsamt wird. Ist eine Person im Vergleich zur Norm stark verlangsamt, könnte dies ein Hinweis auf höhere Wechselkosten oder reduzierte mentale Flexibilität sein.

Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (Zimmermann & Fimm, 2009)

Aus der TAP wurden die Untertests Alertness und geteilte Aufmerksamkeit durchgeführt. Der Untertest Alertness untersucht die Reaktionszeit in zwei verschiedenen Bedingungen. Zum einen als einfache Reiz-Reaktionszeitaufgabe, bei der mit einem Tastendruck auf ein zufällig erscheinendes Kreuz in der Bildschirmmitte reagiert werden muss (intrinsisches Arousal) und zum anderen als Reaktionsaufgabe mit einem Warnreiz vor dem kritischen Reiz (phasisches Arousal). Beim Untertest zur geteilten Aufmerksamkeit muss der Versuchsteilnehmende zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeiten. Bei der visuellen Suchaufgabe muss mit einem Tastendruck auf eine vorgegebene Symbolkombination reagiert werden. Gleichzeitig hört der Versuchsteilnehmende abwechselungsweise einen hohen und einen tiefen Ton. Immer wenn derselbe Ton zweimal nacheinander zu hören ist, muss ebenfalls die Taste so schnell wie möglich gedrückt werden.

Bremer Symptom-Validierung (aus der Testbatterie zur Forensischen Neuropsychologie (TBFN); Heubrock & Petermann, 2000)

Aus dieser computergestützten Testbatterie wird der Kurzzeitgedächtnistest A verwendet. 20 unterschiedliche Stimuli (Strichzeichnungen, wie zum Beispiel ein Segelboot) werden jeweils fünfmal in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Nach einer kurzen Pause folgen zwei nebeneinander angeordnete komplexere Bildpaare (beispielsweise ein See mit einem Segelboot und ein See mit einem Schwimmer), von denen nur eines den Stimulus (Zielreiz) enthält. Die Aufgabe des Versuchsteilnehmenden ist es, den Zielreiz zu identifizieren und dies durch Drücken der entsprechenden Taste anzuzeigen. Gemessen werden die Anzahl der richtigen Antworten sowie die Reaktionszeit. Dieser Test gilt in der neuropsychologischen Praxis als Leistungsvalidierungstest. Das sind spezielle Untersuchungsverfahren, die es erlauben, eine negative Antwortverzerrung wie Übertreibung oder Vortäuschung von kognitiven Störungen zu entdecken. Diese Tests haben einen sehr einfachen Aufbau und stellen praktisch keine Anforderungen an die zu untersuchende Person und sollten demnach beinahe fehlerfrei bearbeitet werden können. Dementsprechend sind eine hohe Fehlerzahl oder sehr langsame Reaktionszeiten als auffällig einzustufen.

Aggravation wird als Ausweitung oder Übertreibung tatsächlich vorliegender Beschwerden definiert, um z.B. den Erhalt einer Kompensationsleistung oder den Erlass einer Massnahme zu erreichen oder soziale Vorteile wie Aufmerksamkeit zu gewinnen (sekundärer Krankheitsgewinn; Widder, 2011). Aggravation muss von Simulation abgegrenzt werden (vgl. Simulation). Bei der Aggravation sind im Kern authentische Beschwerden oder Symptome zwar vorhanden, deren Art und Ausmass ist je nach Schwere der Aggravation jedoch möglicherweise schwierig zu bestimmen. Die Abgrenzung zwischen Aggravation und Simulation ist häufig schwierig: im Englischen wird deshalb der Begriff des *malingering* verwendet, der beide Formen nicht-authentischer Darstellungsweisen von Symptomen und Beschwerden zusammenfasst. Aggravation ist ebenfalls von weniger stark ausgeprägten Verdeutlichungstendenzen abzugrenzen (vgl. Beschwerdenverdeutlichung; (Merten, 2014).

Beschwerdenvalidität beschreibt die Glaubhaftigkeit einer Beschwerdenschilderung und der Gültigkeit der Symptomdarstellung eines Exploranden. Die Beschwerdenvalidität kann mittels Selbst-, Fremdbereichten oder Fragebogenverfahren überprüft werden (Larrabee, 2012). Die Beschwerdenvalidität ist von der Leistungsvalidität abzugrenzen.

Beschwerdenverdeutlichung Diese Verdeutlichungstendenzen sind nicht als grob situationsinadäquat anzusehen, sondern können je nachdem sogar situationsimmanent sein. Sie stellen die Gültigkeit der Beschwerdenschilderung und Befunderhebung nicht grundsätzlich in Frage. Für die Abgrenzung zu einer schwerwiegenden Beschwerdenschilderung wie Aggravation (vgl. Aggravation) und Simulation (vgl. Simulation) ist bislang jedoch keine Heuristik entwickelt worden (Merten et al., 2009).

Leistungsvalidität bezieht sich auf die Gültigkeit der erbrachten Testleistungen. Sind die Testleistungen valide, kann davon ausgegangen werden, dass die erbrachten Testleistungen die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Exploranden widerspiegelt. Die Leistungsvalidität beschreibt somit die Glaubhaftigkeit der erbrachten Testleistungen und kann mittels Leistungsvalidierungstests, Selbst- und Fremdbereichten sowie

Beobachtungen überprüft werden (Larrabee, 2012) und ist abhängig vom Leistungsverhalten (vgl. Leistungsverhalten) des Exploranden. Die Leistungsvalidität ist von der Beschwerdenvalidität abzugrenzen.

Leistungsverhalten ist das Verhalten, das ein Explorand während der Bearbeitung von Aufgaben zeigt. Das Leistungsverhalten kann sich beispielsweise als hinreichendes Leistungsverhalten oder als selbstlimitierendes Leistungsverhalten zeigen.

- **Hinreichendes Leistungsverhalten** beschreibt das Verhalten eines Exploranden während einer neuropsychologischen Untersuchung, bei dem er versucht, die Aufgaben aktiv zu bearbeiten (*active coping*) und somit die bestmögliche Leistung zu zeigen. Das Ziel dieses Verhaltens ist eine erfolgreiche Aufgabenbewältigung.
- **Selbstlimitierendes Leistungsverhalten** beschreibt das Verhalten eines Exploranden während einer neuropsychologischen Untersuchung, bei dem er nicht sämtliche Möglichkeiten zur bestmöglichen Bearbeitung der Aufgabe ausschöpft (auch suboptimales Leistungsverhalten genannt; (Merten, 2014)). Dabei wird die Aufgabe nicht aktiv, sondern passiv bearbeitet, was als *Non-Coping* bezeichnet wird. Selbstlimitierendes Leistungsverhalten kann unterschiedlich stark ausgeprägt sein und sich im Rahmen einer neuropsychologischen Untersuchung als Simulation (vgl. Simulation), Aggravation (vgl. Aggravation) oder Beschwerdenverdeutlichung (vgl. Beschwerdenverdeutlichung) zeigen.

Mentale Anstrengung: Mentale Anstrengung wird als eine subjektive Empfindung definiert, welche die Opportunitätskosten (Abwägung zwischen Kosten und Nutzen) der aktuellen Tätigkeit widerspiegelt. Die Bearbeitung einer Aufgabe ist stets mit einer Bewertung des Nutzens und der Kosten verbunden, die als Opportunitätskosten zusammengefasst werden können. Nach Kurzban, Duckworth, Kable und Myers (2013) wird diese Bewertung mit zunehmend überwiegenden Kosten der aktuellen Tätigkeit als ein Gefühl von mentaler Anstrengung repräsentiert. Mentale Anstrengung ist als „Qualia“ zu verstehen (Kurzban et al., 2013) und ist abzugrenzen von mentaler Anstrengung im Sinne subjektiver Ressourcenallokation, wie sie von Brehm und Self (1989) beschrieben wird. Die subjektiv empfundene mentale Anstrengung ist in der Regel aversiv und fördert dadurch die Umverteilung kognitiver Prozesse zu Aufgaben mit tieferen Opportunitätskosten (z.B. Tagträumen; Inzlicht, Berkman & Elkins-Brown, 2016; Kurzban, 2016; Kurzban et al., 2013) und

beeinflusst somit das Leistungsverhalten, da zu hohe Opportunitätskosten den Exploranden motivieren, die aktuelle Tätigkeit zu beenden (Kurzban et al., 2013).

Negative Antwortverzerrung bezieht sich auf die „Präsentation von zu schlechten Leistungen sowie mehr oder gravierenderen Symptomen als tatsächlich vorliegen“ (Merten et al., 2009, S. 11). Negative Antwortverzerrung beschreibt somit den Versuch, den Untersucher durch ungenaue oder unvollständige Antworten respektive durch selbstlimitierendes Leistungsverhalten zu täuschen (Merten, Stevens, & Blaskewitz, 2009).

Simulation ist eine auf ein externes Ziel oder einen sekundären Krankheitsgewinn ausgerichtete bewusste Vortäuschung einer Gesundheitsstörung. Sie muss von Aggravation abgegrenzt werden (vgl. Aggravation). Simulierte Gesundheitsstörungen werden erfunden. Die Abgrenzung zu Aggravation ist häufig schwierig, weshalb Aggravation und Simulation teilweise als simulative Tendenzen zusammengefasst werden. Der englische Begriff des *malingering* fasst ebenfalls Simulation und Aggravation zusammen. Differentialdiagnostisch ist Simulation ebenfalls von der artifiziellen Störung sowie von somatoformen und dissoziativen Störungen abzugrenzen. Zur Abgrenzung müssen Motivationsanalyse (externale vs. internale Zielausrichtung, Bewusstheit der Zielsetzung und Annahmen über die Bewusstheit der nicht authentischen Symptomrepräsentation berücksichtigt werden. Zur Feststellung einer möglichen Simulation sind spezielle Verfahren (Beschwerden- und Leistungsvalidierungsverfahren) entwickelt worden (Merten & Engemann, 2014)

Persönliche Angaben

Geburtsdatum: 27.01.1988

Nationalität: Schweiz

Schulausbildung

1995 – 2001	Primarschule, Malters LU, Schweiz
2001 – 2004	Kantonsschule, Reussbühl LU, Schweiz
2004 – 2007	Kantonsschule Musegg Luzern, Schweiz

Studium

Feb 2014 – Sep 2017

Doktorandin

Institut für Neuropsychologische Diagnostik und Bildgebung,
Schweizerisches Epilepsie Zentrum, Klink Lengg AG, Zürich,
Schweiz und Universität Zürich

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Hennric Jokeit

Sep 2011 – Jan 2014

Master of Science in Psychologie UZH

Universität Zürich, Schweiz

Kognitive Psychologie und kognitive Neurowissenschaften

Sep 2008 – Aug 2011

Bachelor of Science in Psychologie

Universität Basel, Schweiz

Doktoratsprogramm

Feb 2014 – Sept 2017

Doktoratsprogramm Psychologie

Psychologisches Institut, University Zürich, Schweiz

Betreuung von Masterarbeiten

2015 - 2016

Elisabeth Bieri (2016). Mentale Anstrengung und die Veränderung der Herzrate und der Herzratenvariabilität während dem Bearbeiten neuropsychologischer Aufgaben

2015 – 2016

Beat Huber (2016). Changes in heart rate and heart rate variability of neurological patients during a neuropsychological assessment.

2016 Lorena Kegel (2016). Straight to the heart of the matter. Der Zusammenhang zwischen emotionsgetriebener Modulation der Herzrate, Empathie und episodischer Gedächtnisleistung hinsichtlich emotionaler Inhalte.

2016-2017 Anaïs Verrey (2017). Modulation der Herzrate und Herzratenvariabilität beim Betrachten eines emotionsgeladenen Spielfilms – Der Zusammenhang mit Persönlichkeit und Empathie.

Poster

Kegel, L. C., Steiger, B. K., **Spirig, E.**, Schaer-Rauber B. A., Verrey, A., Cadelli, A. S., Jokeit, H. (2017): Diversity and dynamics of human heart rate responses to a pseudo-realistic disaster movie. *ZNZ Symposium, Zürich, Schweiz*, 14. September 2017

Spirig, E., Steiger, B. K. & Jokeit, H. (2017): Hiding your heart: What do heart rate signals tell us about mental effort? *5th European Conferenc on Symtom Validity Assessment, Basel, Schweiz*, 22.-23. Juni 2017.

Steiger, B. K., **Spirig, E.**, Muller, A. M., Toller, G. & Jokeit, H. (2016). Mesial temporal lobe epilepsy (MTLE) is associated with deficits in recognition of emotional facial expressions. *3rd Burghölzli Psychiatry Meeting, Zürich, Schweiz*, 25. Oktober 2016.

Steiger, B. K., **Spirig, E.**, Muller, A. M., Toller, G. & Jokeit, H. (2016). Disruption of functional connectivity within the face processing network in temporal lobe epilepsy. *ZNZ Symposium, Zürich, Schweiz*, 15. September 2016.

Steiger, B. K., **Spirig, E.**, Muller, A. M. Toller, G. & Jokeit H. (2016): Right Temporal Lobe Epilepsy Disrupts Fear Induced Modulation of Limbic Functional Connectivity. *22nd Annual meeting oft he organization for human brain mapping, Genf, Schweiz*, 26.-30. Juni 2016.

Spirig, E., Sutter, C., Zöllig, J., & Martin, M. (2012): Kognitives Training und EEG: Trainingsbedingte Veränderungen im Alpha- und Beta-Frequenzband nach einem verbalen Flüssigkeitstraining. *LiMaDoKo (Lizentiandinnen – Masterstudierende – Doktorandinnen Kongress) Zürich, Schweiz*, 31 May 2012.

Publikationen

Steiger, B. K., Muller, A. M., **Spirig E.**, Toller, G. & Jokeit H. (2017). Mesial temporal lobe epilepsy diminishes functional connectivity during emotion perception. *Epilepsy Research*, 134, 33-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2017.05.004>.